

# Determinación de Balance Hídrico y Caudal Ambiental



## Objetivo 2. Tarea 10

### Reporte de determinación del balance hídrico y caudal ambiental

Diciembre, 2017



**Contrato de consultoría No. 023 (2016)**

**“Estudios para la elaboración del diseño conceptual del reservorio multipropósito en la Cuenca de Río Indio y proyectos complementarios para el manejo de la cuenca”**

Celebrado entre el Ministerio de Ambiente y la Autoridad del Canal de Panamá

**Objetivo 2. Tarea 10**  
**Reporte de determinación del balance hídrico y caudal ambiental**

A TRAVÉS DE PROYECTO ACP-PNUD: 99193 - “APOYO A LA GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS CONTIGUAS A LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ Y ESTUDIOS SOCIALES, AMBIENTALES Y TÉCNICOS PARA LA ELABORACIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL DE UN RESERVORIO MULTIPROPÓSITO EN LA CUENCA DE RÍO INDIO”

**Orden de Compra: 8980 PAN 2017**

**Consultor: Environmental Resources Management (ERM)**

**Proyecto de Capacidad Hídrica**  
Autoridad del Canal de Panamá

## CONTENIDO

<b>1. RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 MÉTODO.....</b>	<b>14</b>
<b>3. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DE RÍO INDIO.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA: COMPONENTE SOCIOECONÓMICO.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA POR SECTORES.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1 Agua para uso humano o doméstico.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.2 Demanda de agua en el sector pecuario.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 Demanda de agua en el sector agrícola.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.4 Consumo industrial.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.5 Consumo en el sector comercios y servicios.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.6 Consumo en el sector energía.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.7 Consumo en el sector acuícola.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3 CÁLCULO TOTAL DE LA DEMANDA SOCIOECONÓMICA.....</b>	<b>57</b>
<b>Valoración monetaria del consumo de agua de la cuenca de río Indio.....</b>	<b>57</b>
<b>3.4 CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA: COMPONENTE BIOLÓGICO.....</b>	<b>59</b>
<b>3.4.1 Recolección de muestras del componente biológico.....</b>	<b>60</b>
<b>3.4.2 Hallazgos de las muestras biológicas.....</b>	<b>63</b>
<b>4. COMPONENTE BIOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL.....</b>	<b>83</b>
<b>5. CÁLCULO DEL CAUDAL MÍNIMO REQUERIDO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL RÍO INDIO.....</b>	<b>89</b>

<b>6. RESUMEN DEL MODELO HIDROLÓGICO.....</b>	<b>91</b>
<b>7. RESULTADOS: ESCENARIO NO. 1 .....</b>	<b>100</b>
<b>7.1 BALANCE HÍDRICO 2000 - 2015 .....</b>	<b>100</b>
<b>7.1.1 Producción de Agua (WYLD).....</b>	<b>102</b>
<b>7.1.2 Precipitación.....</b>	<b>106</b>
<b>7.1.3 Escorrentía Superficial.....</b>	<b>108</b>
<b>7.1.4 Flujo Lateral .....</b>	<b>110</b>
<b>7.1.5 Flujo Subterráneo.....</b>	<b>112</b>
<b>7.1.6 Evapotranspiración .....</b>	<b>114</b>
<b>7.1.7 Caudal específico 2000-2015.....</b>	<b>116</b>
<b>7.1.8 Disponibilidad hídrica e índice de escasez 2000 - 2015 .....</b>	<b>118</b>
<b>7.2 CAUDALES MÍNIMOS PARA NAVEGACIÓN.....</b>	<b>131</b>
<b>7.3 CAUDALES AMBIENTALES .....</b>	<b>132</b>
<b>7.4 CALIDAD DE AGUA 2000-2015.....</b>	<b>135</b>
<b>7.4.1 Datos históricos de Calidad del Agua.....</b>	<b>135</b>
<b>Informe de Calidad de Agua (2003-2005).....</b>	<b>136</b>
<b>7.4.2 Análisis de calidad del agua en la cuenca del río Indio .....</b>	<b>141</b>
<b>Análisis de nitratos y fosfatos .....</b>	<b>141</b>
<b>8. RESULTADOS: ESCENARIO NO. 2.....</b>	<b>149</b>
<b>8.1 CUMPLIMIENTO CON DEMANDAS HÍDRICAS - ESCENARIO 2 .....</b>	<b>162</b>
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>165</b>
<b>10. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>170</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>172</b>

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

A	área sembrada
a	arbusto
ACP	Autoridad del Canal de Panamá
Aenc	agua extraída no consumida sectorial y doméstica
ARAP	Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá
ARS	Agricultural Research Service
ASEP	Autoridad Nacional de los Servicios Públicos de Panamá
B/.	Balboa
°C	grado centígrado
c	consumo sectorial, doméstico y de ecosistemas
Caai	consumo de agua en agroindustria
Caas	consumo de agua de las actividades de servicios
Cac	consumo de agua del comercio
Cacu	consumo del sector acuícola
Capoi	consumo de agua para la producción en otras industrias
CasRI	consumo de agua por sector en la cuenca de río Indio
Cass	consumo de agua del sector servicios
Cav	consumo de aves de corral
Cbu	consumo búfalos
Cc	consumo caballar
Cca	consumo cabras
Ccaoi	consumo de colaboradores en otras industrias
Ce	consumo del sector energía (hidroeléctrica y termoeléctrica)
Cea	caudal ecológico y ambiental
Ch	consumo humano o doméstico
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
cm	centímetro
Co	consumo ovejas
Cp	consumo porcino
Cs	consumo en sacrificio
Csm	consumo del sector secundario

Csp	consumo del sector primario
Css	consumo del sector servicios
Cua	consumo en lugares de manejo y alojamiento animal
Cv	consumo vital en la fase de cría, levante y terminación
Cva	consumo vacuno
Da	requerimiento de agua del cultivo
Dh/DH	demanda hídrica
Disp (m <sup>3</sup> )	disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca
Dp	demanda pecuaria
E	Este
ERM	Environmental Resources Management
ETESA	Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.
ET	evapotranspiración
ETp	evapotranspiración de referencia potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
F-ODM	Fondo PNUD España para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio
g/cc	gramo por centímetro cúbico
GIS	Geographic Information Systems
GW-Q	contribución de agua subterránea a la corriente
h	hierba
ha	hectárea
hac	hierba acuática
HRU	Hydrologic Response Unit
IC	índice de escasez
IDAAN	Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
I <sub>e</sub>	índices de escasez en %
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
JAAR	Juntas Administradoras de Acueductos Rurales
Kc	coeficiente cultivo
Ke	coeficiente de escorrentía

kg	kilogramo
kgcps	kilogramos de café pergamino seco
km <sup>2</sup>	kilómetro cuadrado
Kr	coeficiente de eficiencia de riego
L/l	litro
L	longitud del flujo (cálculo de flujo lateral)
Lat-Q	flujo lateral
lb	libra
LC	especies de preocupación menor
lp	duración del periodo de crecimiento
m	metro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
MDE	Modelo Digital de Elevación
MiAMBIENTE	Ministerio de Ambiente
MIDA	Ministerio de Desarrollo Agropecuario
MINSA	Ministerio de Salud
mm	milímetro
msnm	metro sobre nivel del mar
n	coeficiente de Manning
N	Norte
NASA	National Aeronautics and Space Administration
No.	número
NSE	coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe
O <sub>c</sub>	otros consumos
O <sub>e</sub>	oferta hídrica superficial en m <sup>3</sup>
OH / O <sub>n</sub>	oferta hídrica superficial neta
ONU-REDD	Programa de Colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en los Países en Desarrollo
P	precipitación en mm
Pas	precio del agua por sector
PBIAS	Percent Bias

PNSH	Plan Nacional de Seguridad Hídrica
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Q	caudal
Qda.	quebrada
QQ	quintal
$R_e$	factor de reducción para mantener el régimen de sequía en $m^3$
$R_f$	Factor de reducción para protección de fuentes frágiles
s	segundo
SIG	Sistema de Información Geográfica
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TDR	Términos de Referencia
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UG	Unidad de Gestión
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USDA	United States Department of Agriculture
Vcomp	volumen actual comprometido aguas abajo
Vesc ( $m^3$ )	volumen medio anual de escurrimiento en la salida de la cuenca
WMS	Watershed Modeling System
WYLD	rendimiento total de la cuenca
7Q10	Método hidrológico que se refiere a la duración de un caudal mínimo en 7 días con un 10% de probabilidad de ocurrencia en cualquier año



## 1. RESUMEN EJECUTIVO

El cálculo del balance hídrico y la determinación de valores de caudal ambiental son parte de los estudios técnicos incluidos en el Contrato 023-2016, “Estudios para la elaboración del diseño conceptual del reservorio multipropósito en la Cuenca de Río Indio y proyectos complementarios para el manejo de la cuenca”.

Dentro del alcance de este trabajo se especificó la metodología a utilizar para el cálculo del balance hídrico y caudal ambiental de la cuenca de río Indio. En ese sentido, se consideraron las recomendaciones realizadas por el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) desde la etapa de elaboración de los Términos de Referencia, tomando en cuenta que actualmente, no existe una norma que estipule la metodología o procedimiento para la determinación del caudal ambiental de las cuencas en el país.

A manera de antecedente, en Panamá se han realizado varios estudios para obtener el balance hídrico superficial de la cuenca del río Indio. En el año 2008, el Programa Internacional de la UNESCO para América Latina y El Caribe desarrolló el Documento Técnico PHI-LAC No 9, denominado Balance Hídrico Superficial de la República de Panamá. Este documento muestra en la página 78 un cuadro con los datos básicos utilizados para el desarrollo del balance hídrico superficial de la República de Panamá, en donde incluye la cuenca del río Indio con un valor muy similar al valor obtenido en este reporte; además, existen otros estudios de la Autoridad del Canal de Panamá (J. Cuevas 2001) y de otras empresas, que muestran resultados cónsonos con los incluidos en este documento denominado *“Reporte de determinación del balance hídrico y caudal ambiental”*.

Para el cálculo de balance hídrico se usó el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT), se recopiló la información requerida por el modelo y se realizó el control de calidad de la información. El relleno de información se efectuó por medio de métodos estadísticos cuando fue necesario.

En cuanto a la estimación del caudal ambiental, se consideraron aspectos hidrobiológicos y socioeconómicos, incluyendo la realización de giras de campo, establecimiento de sitios de muestreos y la revisión de información secundaria de diversas fuentes como los Censos de Población y Vivienda, Censos Agropecuarios, información de usos de agua a través de concesiones, y existencia de Juntas Administradoras de Acueductos Rurales (JAARs), entre otros.

Entre los resultados obtenidos a través de este estudio, se muestran los datos y mapas del índice de escasez por subcuenca, balance hídrico por subcuenca, oferta y demanda, así como el análisis de caudal ambiental, considerando una metodología semi-holística que combina aspectos hidrológicos, ambientales y sociales.

En este reporte se presentan los resultados para dos escenarios considerados; un escenario que corresponde a las condiciones existentes (tomando como base los resultados del modelo 2000 - 2015), y un escenario que considera la reducción del caudal a partir de la subcuenca 6; este último escenario consideró criterios socioeconómicos e hidrobiológicos basados en información limitada de la especie bandera seleccionada en el río Indio, (*A. montícola*), la cual requiere un caudal mínimo estimado de 0.7 m<sup>3</sup>/s.

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que las subcuencas que presentan un índice de escasez de agua moderado (entre 10% y 19%), bajo condiciones existentes (Escenario 1), son las subcuencas 5 (La Encantada), 7 (Castillito), 16 (Las Marías Arriba) y 18 (Santa Rosa); mientras que el resto de las subcuencas reportan un índice de escasez bajo (menor al 10 %). Para el Escenario 2; las subcuencas 5 (La Encantada), 7 (Castillo), 16 (Las Marías Arriba) y 18 (Santa Rosa) presentan un índice de escasez de agua medio (entre 20 % - 40 %); las subcuencas 14 (El Silencio), 17 (Uracillo Centro), 20 (Río Indio Centro), 22 (Río Indio Arriba) y 23 (Nacimiento de Río Indio) presentan un índice de escasez moderado y el resto es bajo (menor al 10 %).

De acuerdo con los cálculos de este estudio, existe disponibilidad de agua en las subcuencas de río Indio bajo condiciones existentes. Las subcuencas ubicadas al este de la cuenca 5 y 18, junto con la subcuenca 6 podrían verse impactadas por la presencia de nuevas demandas y/o proyectos.

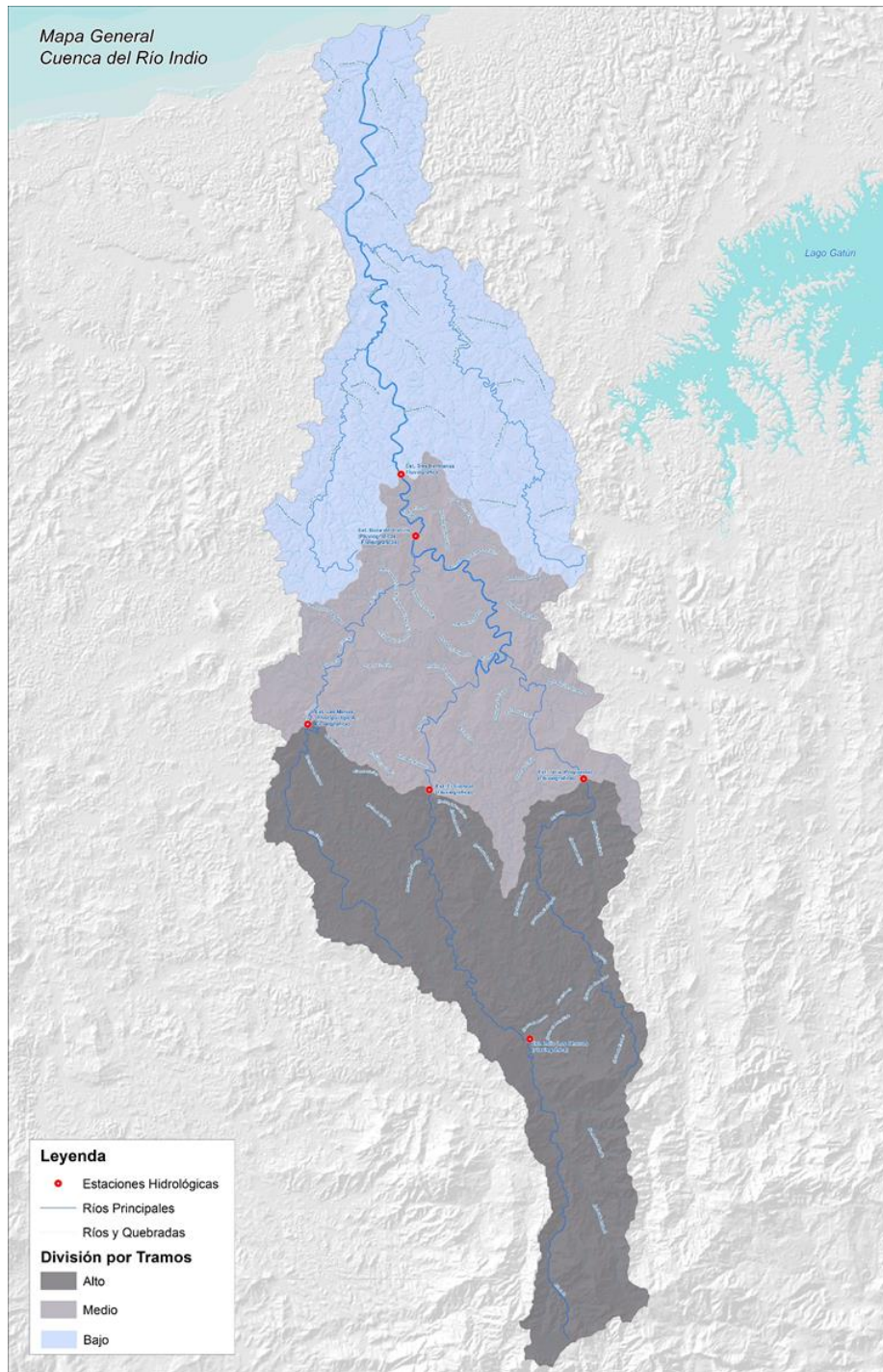
Considerando las condiciones de demanda estimadas para el 2050, se determinaron los caudales ambientales recomendables por mes para cada una de las 23 subcuencas, las cuales fueron obtenidas a partir del modelo digital de elevación (MDE) con resolución de 10m; realizando el pre procesamiento con la herramienta ArcGIS. También, se calcularon los caudales mínimos por medio de métodos hidrológicos Q95% (probabilidad de excedencia del caudal en 95%) y 7Q10 (es la duración de caudal mínimo en 7-días con 10 % de probabilidad de ocurrencia en cualquier año), a fin de proporcionar información adicional para determinar los caudales ambientales. Los meses más críticos respecto a la disponibilidad hídrica son los meses más secos (febrero-abril). Se recomienda que durante este tiempo se tenga especial cuidado en mantener el caudal ambiental propuesto o un poco más.

El caudal ambiental que se recomienda para esta cuenca oscilaría entre un 15% y un 27% para garantizar la demanda social, ambiental y económica en el área. En cualquier caso, se requiere la evaluación detallada de los impactos y las medidas para reducir o compensar los impactos a los usuarios, y a los parámetros ambientales del área. En ese sentido, la generación continua de datos hidrológicos es una necesidad que está siendo atendida a través de la rehabilitación de al menos tres estaciones hidrometeorológicas en la cuenca de río Indio, a través del Contrato 023-2016 entre MiAMBIENTE y ACP. Dos de estas estaciones ya han sido rehabilitada y están en operación desde el mes de noviembre de 2017: Boca de Uracillo y Tres Hermanas.

## 2. INTRODUCCIÓN

El Plan Nacional de Seguridad Hídrica tiene como una de sus metas, asegurar agua para un desarrollo económico inclusivo. Con el fin de cumplir con dicha meta, se planteó la necesidad de realizar estudios de pre inversión para la construcción de reservorios multipropósito en cinco cuencas del país (ríos Indio, Santa María, La Villa, Bayano y microcuenca del río Perales). Fue precisamente a raíz de estos estudios que el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) firmaron tres contratos el 15 de diciembre de 2016, considerando la experiencia de la ACP en la gestión de cuencas, el manejo del sistema de lagos del Canal, el desarrollo de estudios y análisis de pre factibilidad y factibilidad, y la ejecución de proyectos de gran envergadura.

Para efectos de este reporte, se incluyen análisis considerando tramos de la cuenca (alto, medio y bajo). Esta segmentación fue definida y entregada al Contratista por ACP y es requerida por efectos comparativos con otros estudios que se desarrollan en la cuenca de río Indio (Ver figura 1)



*Figura 1: Tramos de la cuenca de río Indio provistos para este estudio.*

## **2.1 OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO**

El objetivo general del proyecto es contribuir a la gestión integral de la cuenca hidrográfica de río Indio (111) realizando los estudios científicos, ambientales y sociales necesarios para determinar la oferta y demanda hídrica, el balance hídrico superficial y el caudal ambiental en esta cuenca.

## **2.2 MÉTODO**

La metodología utilizada para el cálculo del balance hídrico y para la estimación del caudal ambiental, cumplió con las especificaciones incluidas en los Términos de Referencia *Servicios Profesionales Especializados para la Estimación del Balance Hídrico y el Cálculo del Caudal Ambiental de la Cuenca Hidrográfica de Río Indio (111)*, los cuales consideraron especificaciones de trabajos que se realizan actualmente en varias cuencas del país y que buscan establecer una metodología para este tipo de estudios a nivel nacional.

La metodología utilizada en este estudio fue incluida en cuatro tareas principales que se resumen en la Figura 2 y se amplían en el Anexo 1 de este reporte. Las definiciones y aspectos principales considerados se describen a continuación.

### Tarea 1: Visita de Reconocimiento y recopilación de información adicional

- Presentar metodología propuesta
- Recibir retroalimentación por parte de ACP, UG, MiAMBIENTE y UNDP
- Visitar la cuenca en puntos clave

### Tarea 2: Recolección y control de calidad de información

- Necesaria para todas las tareas del proyecto
- Estimar caudal ambiental
- Balance hídrico
- Oferta y demanda hídrica

### Tarea 3: Construcción del modelo hidrológico (SWAT)

- Preparación de los datos de entrada requeridos para el modelo
- Comparación de caudales observado vs caudales generados por el modelo
- Definición de escenarios

### Tarea 4: Proceso de resultados

- Balance hídrico a nivel cuenca y subcuenca
- Caudal ambiental
- Oferta y demanda hídrica

Fuente: ERM, 2017

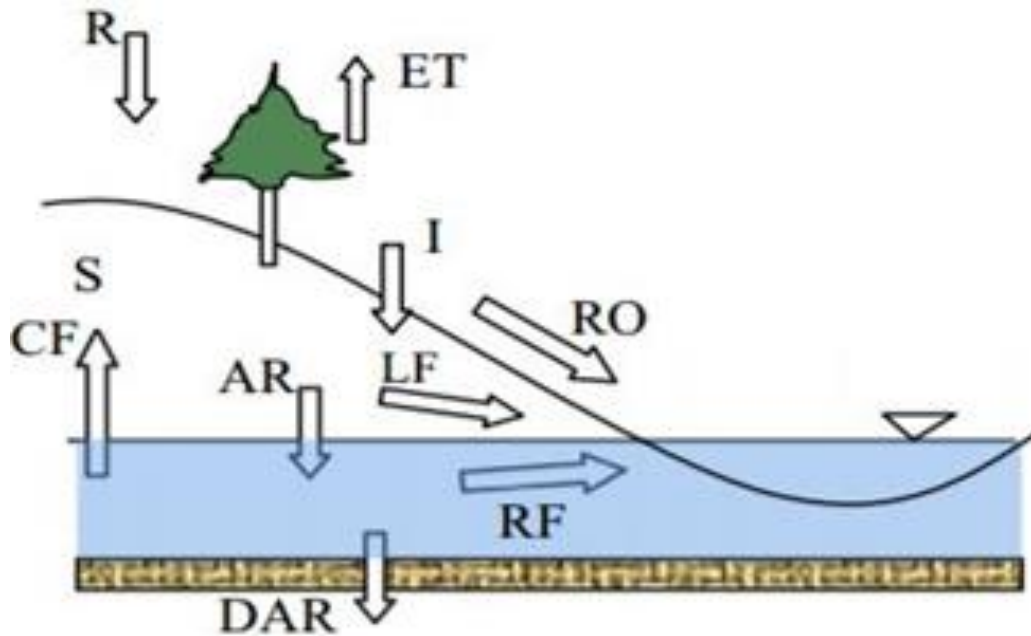
**Figura 2:** *Resumen y secuencia de las tareas para la estimación del balance hídrico y el cálculo del caudal ambiental de la cuenca hidrográfica de río Indio*

## BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico a nivel cuenca y subcuencas, fue determinado utilizando los valores de salida generados del modelo hidrológico SWAT junto con la ecuación del balance hídrico descrita por UNESCO. La ecuación del balance hídrico, para cualquier cuenca o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico incluyen la precipitación, en forma de lluvia, recibida en la superficie del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca hidrográfica desde afuera. Las salidas de la ecuación incluyen la evaporación desde la superficie de la cuenca y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca.

Los siguientes parámetros fueron considerados en el balance hídrico: precipitación, escorrentía superficial, flujo lateral, caudal base, percolación, recarga del acuífero, evapotranspiración y demás parámetros que consideran las entradas, salidas y almacenamiento en la cuenca. En la Figura 3 se muestra un esquema conceptual de balance hídrico en el modelo SWAT.





R= Lluvia; ET = Evapotranspiración; I = Infiltración; RO = Escorrentía; RF= Flujo de retorno; LF = Flujo Lateral; CF = Flujo Capilar; AR = Recarga del Acuífero; DAR = Recarga del Acuífero Profundo; S = Humedad del Suelo.

**Figura 3:** Principales componentes del balance hídrico

## CAUDAL AMBIENTAL

El caudal ambiental establece cuánto del régimen hidrológico natural de un río debería seguir fluyendo aguas abajo y hacia la planicie de inundación para mantener los valores característicos del ecosistema<sup>1</sup>. El objetivo que busca la determinación del caudal ambiental de un río es conservar los servicios ecosistémicos, los cuales se entienden como los beneficios que proveen los ecosistemas a los seres humanos, contribuyendo a su bienestar. Considerando lo anterior, el concepto de caudales ambientales plantea específicamente el interés de sostener los ecosistemas y el

<sup>1</sup> <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002277/227701S.pdf>

bienestar humano que dependen de ellos. La estimación del caudal ambiental se llevó a cabo considerando aspectos hidrobiológicos y socioeconómicos para la cuenca y subcuencas del río Indio, como se describe a continuación.

En este estudio se utilizaron los resultados del modelo hidrológico (calibrado con información existente y extendido por 15 años desde el 2000 hasta el 2015 con información de precipitación), información de usuarios de agua y el uso de métodos hidrológicos para estimar el caudal ambiental para la cuenca del río Indio. Los métodos hidrológicos representan la herramienta más simple, económica y más utilizada a nivel mundial para evaluar el caudal ambiental. En el análisis propuesto se usaron las series temporales de los caudales generados por el modelo hidrológico.

Se reportaron los caudales mínimos y de inundación para la cuenca y subcuencas del río Indio mediante el uso de diferentes métodos probabilísticos, considerando los valores de salida generados por el modelo hidrológico y considerando los aspectos hidrobiológicos y socioeconómicos dentro de la cuenca. El enfoque de este análisis consideró los factores (p.ej., extracciones, usos del río, etc.) que alteran los caudales del río Indio. Se generó información sobre caudales ambientales y de crecidas con el uso del método hidrológico tales como:

- Curvas de caudales de excedencias: Estas curvas muestran el porcentaje de días en el que un caudal particular es excedido en un punto específico de la cuenca.
- Porcentaje de caudales establecidos por MiAMBIENTE: Este caudal no debe ser confundido con el porcentaje de caudal excedente. Son directrices para caudal mínimo establecidos por MiAMBIENTE (p.ej., 10 % del caudal promedio anual o cualquier otro).
- Estadísticas de caudales mínimos: Información de caudales disponible de la estación Boca de Uracillo (ver descripción de la estación en Tabla 62), la más cercana al área de estudio, que fue revisada utilizando la distribución log-Pearson Tipo III (o similar) y se generaron caudales sintéticos para completar

la serie 2000-2015 debido a la falta de datos. Estos datos fueron reportados en forma de duración- caudal-frecuencia. Por ejemplo, la estadística 7Q10 que es la duración de caudal mínimo en 7 días con 10 % de probabilidad de ocurrencia en cualquier año.

Para la estimación del caudal ambiental, se consideraron aspectos hidrobiológicos y socioeconómicos. Además, se evaluó junto con los expertos en ecosistemas acuáticos (aspectos biológicos), el caudal umbral en el río Indio que no produzca efectos adversos a los hábitats acuáticos en la cuenca.

La metodología propuesta fue semi-holística y concuerda con la metodología que actualmente está utilizando MiAMBIENTE para los estudios en otras cuencas hidrográficas de Panamá. A continuación, se describen las principales actividades que se llevaron a cabo para la recolección de información necesaria para estimar el caudal ambiental en la cuenca del río Indio.

## **ASPECTOS BIOLÓGICOS DE CAMPO**

El objetivo del trabajo de campo fue conocer los organismos presentes en diferentes tramos del río Indio para brindar una idea precisa de cómo se distribuyen las especies animales y vegetales; así mismo, ayudó a determinar la distribución de las especies dentro del cauce principal y su asociación a la hidrología del río Indio. Se utilizó la siguiente metodología de campo y análisis de muestras de laboratorio para determinar la información a ser considerada en la estimación del caudal ambiental mediante el uso de métodos probabilísticos. Para caracterizar los aspectos biológicos de la cuenca del río Indio, se realizaron las siguientes tareas:

- Se establecieron 13 estaciones en localidades del río Indio distribuidas en los tramos alto, medio y bajo de la cuenca, representativos de los diferentes hábitats acuáticos presentes en el cuerpo de agua.

- Se colectaron peces mediante la utilización de diferentes artes de pesca, dependiendo de las características de la sección del río evaluada.
- Se colectaron macro invertebrados en las estaciones de muestreo mediante el uso de nasas o redes de colecta o electro pesca.
- Revisión de la vegetación riparia.
- Identificación in situ y en laboratorio de peces y macro invertebrados colectados.
- Caracterización de las estaciones y captación de las cantidades de organismos colectados y especies capturadas para introducirlos en hojas de trabajo de campo para su posterior análisis en laboratorio.

Las ubicaciones de las estaciones de muestreo se definieron durante la visita de reconocimiento llevada a cabo durante las actividades de la Tarea 1 (Ver Anexo 1). Estas estaciones fueron representativas de los diferentes hábitats que presenta el río Indio, incluyendo hábitats someros con rocas o vegetación, fondos rocosos o arenosos, zonas de alta velocidad de corriente o de aguas lentas, hábitats someros o de aguas profundas. Así mismo, las artes de pesca escogidas, dependieron de las características de cada sitio de muestreo. Por último, es importante mencionar que, durante la colecta de muestras de peces y macro invertebrados, el equipo de especialistas en biología acuática de ERM recolectó información sobre las características hidromorfológicas de los cauces en donde se instalaron las estaciones de monitoreo biológico. (Ver Anexo 2).

### **ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LABORATORIO:**

Con los datos obtenidos, se realizaron los cálculos relacionados con las comunidades bióticas reportadas de peces, macro invertebrados y vegetación riparia, además de establecer la integridad ecológica de las comunidades reportadas. Los datos colectados permitieron establecer variables de biodiversidad (función de Shannon, Simpson, Equidad, Dominancia, etc.).

## ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

Para determinar los caudales mínimos necesarios para cumplir las necesidades socioeconómicas y culturales de la cuenca del río Indio, se utilizó la información sobre los siguientes parámetros:

- Consumo de agua para uso doméstico;
- Usos del agua para actividades de agricultura, acuicultura y ganadería;
- Uso del agua para actividades comerciales e industriales; y
- Utilización del río Indio y sus tributarios como medio de transporte.

Los valores anuales de caudal estimados para abastecer las necesidades socioeconómicas, fueron sumados a los caudales determinados por el equipo de biología acuática a fin de determinar el caudal ambiental para las 23 subcuencas de río Indio.

En la Figura 4, se presenta un esquema que resume el método semi-holístico utilizado para determinar el caudal ambiental a nivel de subcuenca del río Indio. El método semi-holístico propuesto incluyó el uso de métodos hidrológicos<sup>2</sup> y la incorporación de información de caudales mínimos necesarios para no producir efectos adversos sobre la biodiversidad acuática y los sectores socioeconómicos que dependen del río Indio. A continuación, se resumen los pasos utilizados para la estimación del caudal ambiental:

- Definir y analizar del régimen del caudal natural para los cursos de agua que forman la cuenca del río Indio (series de tiempo para un periodo de 15 años

---

<sup>2</sup> Basados en series temporales de los caudales de un curso de agua. Los datos utilizados por los métodos hidrológicos pueden obtenerse del registro histórico de estaciones de aforo o mediante modelación numérica hidrológica. El método hidrológico proporciona valores para 5 componentes del régimen hidrológico (magnitud, frecuencia, duración, momento y tasas de cambio de los diferentes caudales).

generados del modelo hidrológico 2000-2015). Por ejemplo, magnitud, frecuencia y duración de caudales altos, caudales medios y caudales bajos;

- Campaña de monitoreo de especies acuáticas en los principales cauces de agua que forman la cuenca del río Indio. Determinar los regímenes de caudales requeridos para especies indicadores (bandera) mediante el uso de información bibliográfica;
- Verificar que los elementos del caudal de descarga permitirán evaluar otras importantes variables, tales como calidad del agua (p.ej., Santa Rosa, La Encantada, El Chilar);
- Construir tablas mostrando los caudales ambientales mensuales para un periodo de 15 años (2000-2015);
- Registrar los caudales ambientales calculados en tablas para cada subcuenca del río Indio por mes y temporada (seca y lluviosa);
- Incluir necesidades de caudales individuales para evaluar las implicaciones generales en el uso de los recursos hídricos de las subcuencas del río Indio;
- Repetir los mismos pasos asegurándose que el caudal ambiental aguas arriba es suficiente para cumplir las necesidades aguas abajo, considerando necesidades ambientales y socioeconómicas.

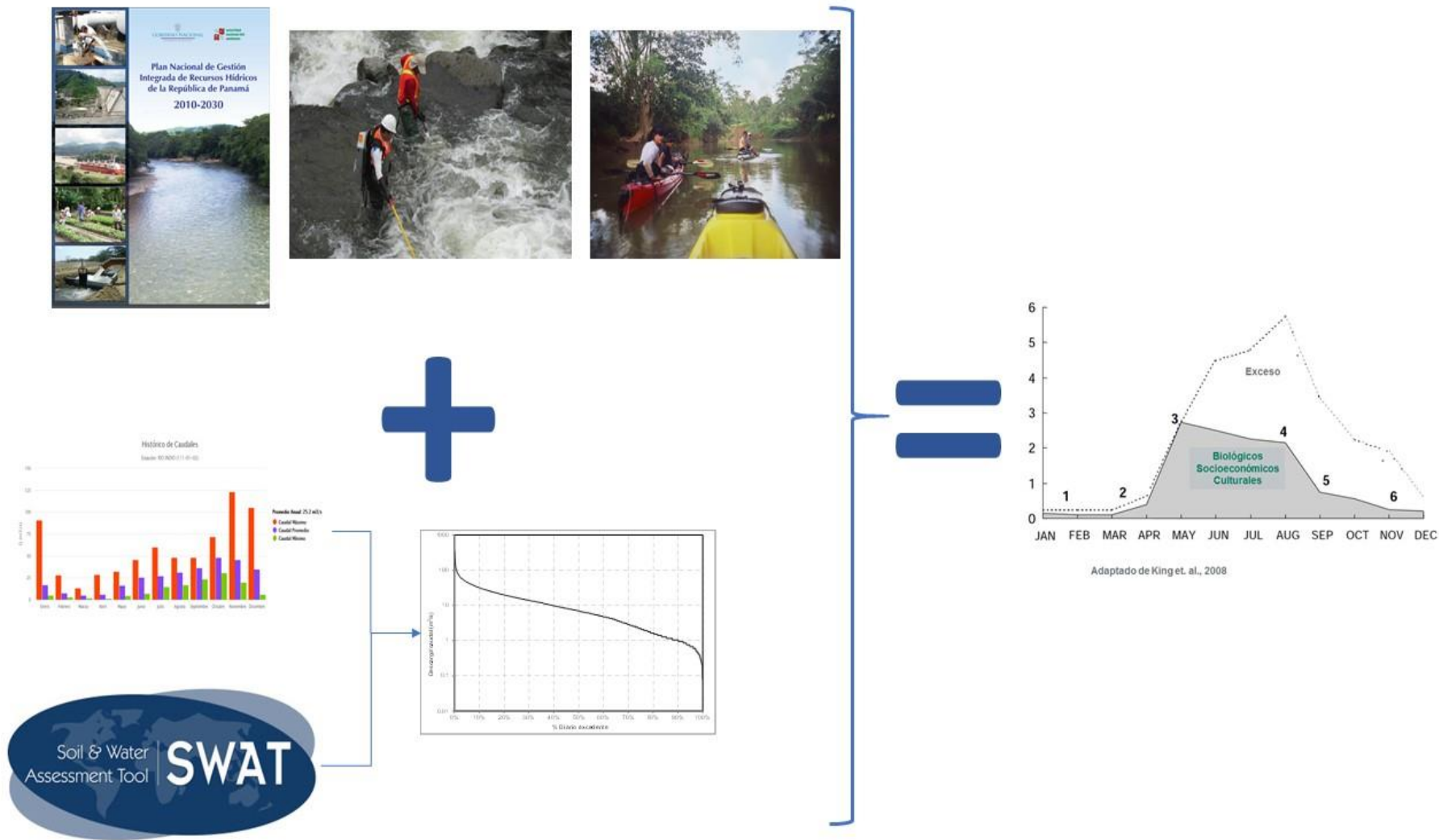


Figura 4: Componentes utilizados para estimar el caudal ambiental en río Indio

## **CÁLCULO DE LA OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA**

La demanda hídrica es igual al volumen total de agua extraída. Este volumen de agua extraído, es igual a los consumos más el agua extraída no consumida. La demanda hídrica incluye consumos para uso humano o doméstico, sector pecuario, agrícola, industrial, comercio y servicios, energético y acuícola. Por otro lado, la oferta hídrica corresponde al caudal de salida de la cuenca en estudio o volumen de escurrimiento anual en unidades de volumen por tiempo. Este caudal o flujo se obtuvo de los datos de flujo de corriente diarios promedio de salida generados del modelo hidrológico SWAT (calibrado y extendido para un periodo de los 15 años más recientes). Detalles sobre los datos y fórmulas utilizadas para determinar la oferta y demanda hídrica para la cuenca del río Indio se describen en secciones posteriores.

## **DISPONIBILIDAD HÍDRICA E ÍNDICE DE ESCASEZ**

La disponibilidad hídrica fue estimada mediante el análisis entre la oferta y la demanda de agua. También, se calculó el índice de escasez que se define como la relación entre la demanda de agua y la oferta hídrica superficial. Para esta actividad, se utilizaron los resultados generados del modelo hidrológico calibrado SWAT para el periodo de 15 años y la fórmula de cálculo del índice de escasez de agua superficial que se describe posteriormente.



### 3. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DE RÍO INDIO

A continuación, se presentan los requerimientos hídricos de los aspectos socioeconómico y biológico dentro de la cuenca de río Indio.

#### 3.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA: COMPONENTE SOCIOECONÓMICO

La demanda hídrica es igual al volumen total de agua extraída. Este volumen de agua extraído es igual a los consumos más el agua extraída no consumida.

Esto se expresa matemáticamente mediante la fórmula siguiente:

$$Dh = \Sigma c + Aenc$$

Donde,

Dh: demanda hídrica

c: consumo sectorial, doméstico y de ecosistemas

Aenc: agua extraída no consumida sectorial y doméstica

Por su parte, los consumos de agua se pueden desglosar de la siguiente manera:

$$c = Ch + Csp + Csm + Ccss + Cea + Ce + Cacu + Oc$$

Donde,

c: consumo sectorial, doméstico y de ecosistemas

Ch: consumo humano o doméstico

Csp: consumo del sector primario

Csm: consumo del sector secundario

Ccss: consumo del sector servicios

Cea: caudal ecológico y ambiental

Ce: consumo del sector energía (p.ej., hidroeléctrica y termoeléctrica)

Cacu: consumo del sector acuícola

Oc: Otros consumos

## **3.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA POR SECTORES**

### **3.2.1 AGUA PARA USO HUMANO O DOMÉSTICO**

El cálculo del uso del agua en el sector doméstico se aborda desde la definición de varios ángulos:

- El consumo propio o vital de la población (preparación de alimentos, higiene, lavado de ropa y usos en sistemas sanitarios),
- El uso en actividades de mantenimiento y aseo en las viviendas, expresado a nivel per cápita en litros/habitante-día;
- Agua extraída no consumida, que se explica mediante el cálculo de las pérdidas en la cadena de conducción y suministro en red (si existe).

Las variables requeridas para la estimación de la demanda hídrica doméstica son:

- Volumen total de población (número de habitantes)
- Número total de viviendas
- Número de personas y hogares por vivienda
- Estimación de consumo individual

#### **Población**

La cuenca de río Indio se ubica en las provincias de Panamá Oeste, Colón y Coclé. La misma limita al norte con el Mar Caribe, al este con la Cuenca del Canal y los ríos entre el Indio y el Chagres, al oeste con los ríos U y Miguel de la Borda y al sur con el Valle de Antón.

Tiene una extensión territorial de 580 kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), y cubre tres (3) provincias, cinco (5) distritos, once (11) corregimientos y 230 localidades. Dentro de la provincia de Panamá Oeste se encuentran el distrito de Capira con los corregimientos de Cirí de Los Sotos, Cirí Grande, El Cacao y Santa Rosa; en la provincia de Colón, encontramos el distrito de Chagres con los corregimientos de La Encantada y Salud, y el distrito de Donoso con los corregimientos de Gobeá, y río Indio; mientras que, en la provincia de Coclé encontramos el distrito de Penonomé con los corregimientos de Chiguirí Arriba y río Indio, y el distrito de Antón con el corregimiento de El Valle.

Según los datos censales de la Contraloría General de la República de Panamá, al año 2010 en la cuenca del río Indio, existían aproximadamente 230 localidades, con unas 2,704 viviendas y 12,415 de población. Sin embargo, la proyección<sup>3</sup> al 2017 indica que hay aproximadamente 12,752 habitantes en la zona. En la Tabla 1 se presenta la población registrada en el censo del año 2010 y la proyección al año 2017.

---

<sup>3</sup> Se calculó la tasa de crecimiento poblacional anual del 2000 al 2010 para cada corregimiento y se estimó para los siguientes 7 años.

**Tabla 1: Población y lugares poblados en la cuenca de río Indio, año 2010 y proyección al año 2017**

Provincia	Distrito	Corregimiento	Lugares poblados	Población 2010	Población 2017
Coclé	Antón	El Valle	2	378	403
Coclé	Penonomé	Chiguirí Arriba	4	473	500
Coclé	Penonomé	Río Indio	80	3,231	3,277
Colón	Chagres	La Encantada	64	2,546	2,578
Colón	Chagres	Salud	1	482	604
Colón	Donoso	Gobea	5	2	2
Colón	Donoso	Río Indio	26	1,026	1,054
Panamá Oeste	Capira	Cirí De Los Sotos	13	995	1,005
Panamá Oeste	Capira	Cirí Grande	17	1,852	1,885
Panamá Oeste	Capira	El Cacao	1	27	26
Panamá Oeste	Capira	Santa Rosa	17	1,403	1,418
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>230</b>	<b>12,415</b>	<b>12,752</b>

Fuente: INEC Panamá, Censos de Población 2010. Proyección 2017<sup>4</sup>.

### *Viviendas, personas y personas por vivienda*

En la cuenca se localizan 231 comunidades, con unas 2,775 viviendas<sup>5</sup> ocupadas por 12,752 personas, siendo el promedio de habitantes por vivienda, 4.6 personas. Este promedio de personas por vivienda se obtiene dividiendo el total de la población entre el total de viviendas, e indica el número de personas que habitan en una vivienda.

$$\text{Personas x vivienda} = \frac{\text{Total de la población}}{\text{Total de viviendas}}$$

<sup>4</sup>[https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=59&ID\\_PUBLICACION=355&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=13](https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=59&ID_PUBLICACION=355&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=13)

<sup>5</sup> Para estimar el número de viviendas para el 2017, se dividió la población por corregimiento del 2017 entre el promedio de personas por vivienda.



- iii) y el uso del agua para limpieza del hogar (lavado de ropa, limpieza de casa, lavado de utensilios empleados en las comidas).

De acuerdo con la Nota técnica# 9 sobre “Agua, saneamiento e higiene en emergencias” de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los consumos de agua en las zonas rurales, de acuerdo con sus servicios sanitarios, se pueden clasificar de la siguiente forma:

- i) casas con servicio sanitario conectado al alcantarillado, en las cuales se consumen 189.3 L/día/persona;
- ii) casas con servicio de hueco o letrina, en las cuales se consumen 5 litros de agua al día por persona (o 5 L/día/persona);
- iii) casas conectadas a tanque séptico, en las cuales se consumen 20 litros de agua al día por persona (o 20 L/día/persona); y
- iv) casas cuyos miembros usan bosques, ríos y quebradas para sus necesidades, las cuales consumen 2 litros de agua al día por persona (o 2 L/día/persona).

A estos consumos por uso agua para el uso de servicios sanitarios, se adiciona el consumo humano personal en zonas rurales que es de 85 litros diarios.

En la Tabla 3 se presentan los consumos para cada categoría.

**Tabla 3: Consumo de agua para usos humanos o domésticos en zonas rurales**

Categoría	Consumo diario de agua por persona (Litros)			Consumo mensual por vivienda <sup>7</sup>	Consumo Anual por vivienda	Viviendas <sup>8</sup>	Consumo anual doméstico cuenca <sup>9</sup>
	Total	Consumo personal	Aseo	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Unidad	m <sup>3</sup>
Hogares con servicio de hueco o letrina	90	85	5	12.4	149.0	2,484	370,215
Conectado a tanque séptico	105	85	20	14.5	173.9	77	13,389
Conectado a alcantarillado	189	85	104	26.1	313.0	6	1,878
Otros (montes, ríos, quebradas)	87	85	2	12.0	144.1	134	19,306
<b>Total</b>						<b>2,701</b>	<b>404,788</b>

Fuente: ERM, octubre 2017

Luego de colectados los datos, los cálculos indican que el total del consumo de agua para uso doméstico dentro de la cuenca hidrográfica de río Indio es de 404,788 metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

### 3.2.2 DEMANDA DE AGUA EN EL SECTOR PECUARIO

#### Ganado Vacuno

De acuerdo con datos obtenidos del Censo Agropecuario 2011 (INEC Panamá), el hato ganadero de la cuenca hidrográfica del río Indio, ocupa unas 12,408 hectáreas (ha) y está conformado por unas 16,095 cabezas, de las cuales el 47.84% son vacas, el 28.62

<sup>7</sup> El consumo mensual por vivienda es el cálculo del consumo diario por vivienda (considerando 4.6 personas/vivienda) en litros multiplicado por 30 días.

<sup>8</sup> [https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=59&ID\\_PUBLICACION=355&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=13](https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=59&ID_PUBLICACION=355&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=13)

<sup>9</sup> El consumo anual doméstico cuenca río Indio se obtuvo multiplicando el consumo anual de agua por vivienda por el número de viviendas de cada categoría.

% novillos y novillas y el 17.19% son terneros y terneras, los bueyes y toretes apenas alcanza el 2.84% de los animales<sup>10</sup>.

Dado que no se contaba con los datos exactos de las existencias pecuarias, se procedió a estimar la superficie pecuaria que se encuentra dentro la cuenca de río Indio, utilizando para ello los mapas existentes, de manera tal que se determinó la proporción de superficie pecuaria y aplicándola a los datos por corregimiento. Posteriormente, se utilizó el dato de reses por hectárea, para cada corregimiento y se proyectaron las existencias correspondientes.

Para conocer el consumo de agua del ganado vacuno (terneros y terneras, novillos y novillas, toros toretes, bueyes y vacas) se deben tomar en cuenta dos factores: en primer lugar, la temperatura ambiente que, para los fines del cálculo, considera la temperatura media anual del lugar, y segundo, la cantidad de materia seca consumida por el animal. A partir de estos factores, se estima entonces que los requerimientos de agua para el ganado de carne (vacuno) alcanzan los 7 litros por día y por cada kilogramo de materia seca consumida<sup>11</sup>, cuando la temperatura media anual es de 26 grados centígrados, tal y como ocurren en la cuenca hidrográfica del río Indio.

En la Tabla 4 se presenta la composición del hato ganadero de la cuenca del río Indio.

---

<sup>10</sup> Procesamiento de datos extraído del Censo Agropecuario 2011. INEC Panamá

<sup>11</sup> Colacelli, Alberto. Consumo de Agua por el Ganado. Revista Producción Agroindustrial del NOA. Universidad de Tucuman, Argentina. [https://www.produccion.com.ar/97feb\\_13.htm](https://www.produccion.com.ar/97feb_13.htm)



**Tabla 4: Existencia de ganado vacuno en cuenca de río Indio según fase del ciclo vital**

Provincia y corregimiento	Existencia de ganado vacuno (cabezas)							
	Total	Fase del ciclo vital						
		Cría	Engorde			Madurez o terminación		
	Terneros y terneras	Novillos	Novillas	Toretos	Toros	Bueyes	Vacas	
Coclé	1,562	275	151	274	23	82	1	757
El Valle	50	9	5	11	1	1	0	24
Río Indio	702	133	87	118	8	27	1	328
Chiguirí Arriba	811	134	59	146	14	54	0	405
Colón	9,528	1,492	1,604	1,458	79	273	1	4,622
La Encantada	6,690	1,006	1,406	1,040	34	185	0	3,018
Gobea	317	54	43	39	8	8	0	166
Río Indio	2,285	381	129	342	31	71	1	1,329
Salud	236	51	26	37	6	8	0	108
Panamá Oeste	5,004	806	428	836	334	191	0	2,409
Cirí de los Sotos	2,283	342	190	347	288	65	0	1,052
Cirí Grande	1,247	200	123	204	22	64	0	634
El Cacao	295	60	38	51	6	12	0	128
Santa Rosa	1,179	204	78	235	18	50	0	594
<b>TOTAL</b>	<b>16,095</b>	<b>2,573</b>	<b>2,183</b>	<b>2,568</b>	<b>436</b>	<b>545</b>	<b>2</b>	<b>7,788</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.<sup>12</sup>

El ciclo de vida del ganado se ordena en la fase de cría (terneros y terneras), levante o engorde (novillos, novillas y toretes) y terminación (toros, bueyes y vacas). En la Tabla 5 se destaca el consumo de agua por animal<sup>13</sup>, según tipo.

<sup>12</sup>[https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=60&ID\\_PUBLICACION=480&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=15](https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=60&ID_PUBLICACION=480&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=15) (Cuadro 6)

<sup>13</sup> IDEAM. Estimación de la demanda de agua. Bogotá, Colombia 2010. Pág. 202

**Tabla 5: Consumo de agua por cabeza de ganado vacuno, por día, mes y año (según tipo de animal)**

Tiempo	Cría	Engorde			Madurez o terminación		
	Terneros y terneras	Novillos	Novillas	Toretas	Toros	Bueyes	Vacas
Día (l/día)	25	45	45	55	70	60	88
Mes (m <sup>3</sup> )	1	1	1	2	2	2	3
Año (m <sup>3</sup> )	9	16	16	20	25	22	32

Fuente: IDEAM. Estimación de la demanda de agua. Bogotá, Colombia 2010. Secretaria de Agricultura y ganadería. Estimación de demandas de agua. México DF México. 2010

Para el cálculo del consumo de agua pecuario se consideró el consumo de agua del hato (l/cabeza-día). Además, se debe agregar el volumen de agua utilizada en las fases de crecimiento y engorde en los lugares de manejo. El consumo anual de agua del ganado vacuno de la cuenca de río Indio, alcanza los 394,070 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) y se desglosa en la Tabla 6.

**Tabla 6: Consumo de agua de ganado vacuno en la cuenca de río Indio por clase, según provincia y corregimiento**

Provincia y corregimiento	Consumo de agua de ganado vacuno (m <sup>3</sup> )							
	Total	Cría	Engorde			Madurez o terminación		
		Terneros y terneras	Novillos	Novillas	Toretas	Toros	Bueyes	Vacas
Coclé	35,879	2,474	2,441	4,437	459	2,061	11	23,994
El Valle	1,140	78	73	177	22	30	0	760
Río Indio	15,768	1,194	1,413	1,904	160	683	11	10,404
Chiguirí Arriba	18,970	1,202	956	2,357	277	1,348	0	12,830
Colón	242,713	13,429	30,007	26,594	1,678	7,701	18	163,285
La Encantada	174,462	9,058	26,795	19,829	792	5,494	0	112,496
Gobea	7,406	485	692	630	154	202	0	5,243
Río Indio	55,612	3,427	2,093	5,536	623	1,799	18	42,115
Salud	5,233	459	428	599	109	207	0	3,431
Panamá Oeste	115,479	7,254	6,934	13,550	6,619	4,805	4	76,311
Cirí de los Sotos	52,429	3,078	3,070	5,613	5,702	1,638	0	33,327
Cirí Grande	29,239	1,800	1,996	3,305	428	1,613	0	20,098
El Cacao	6,466	541	609	820	125	300	4	4,068
Santa Rosa	27,344	1,835	1,260	3,812	365	1,255	0	18,819
<b>TOTAL</b>	<b>394,070</b>	<b>23,157</b>	<b>39,383</b>	<b>44,581</b>	<b>8,757</b>	<b>14,568</b>	<b>33</b>	<b>263,591</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

### Ganado Porcino

En el caso del ganado porcino dado que su cría se realiza en áreas cerradas y ella no depende de la superficie, se optó por la utilización de datos por corregimiento obtenidos del Censo Agropecuario 2011 (INEC Panamá). De acuerdo con esta información censal, el hato porcino de la cuenca hidrográfica del río Indio ocupa unas 806 explotaciones. En su mayoría de subsistencia y está conformado por unas 2,298 cabezas, de las cuales el 62.49% corresponde a machos y hembras de cría, el 19.36 % son lechones y lechonas, 14.23% son machos y hembras de ceba y el 3.92% son machos

y hembras de reemplazo. En la Tabla 7 se presenta la composición del ganado porcino de la cuenca del río Indio.

**Tabla 7: Existencias de ganado porcino de la cuenca hidrográfica del río Indio**

Provincia y corregimiento	Explotaciones	Existencia de ganado porcino (en cabezas)				
		Total	Clase			
			Machos y hembras de cría	Machos y hembras de reemplazo	Machos y hembras de ceba	Lechones y lechonas
Coclé	333	926	609	32	111	174
El Valle	9	54	24	2	13	15
Río Indio	232	683	456	30	74	123
Chiguirí Arriba	92	189	129	0	24	36
Colón	260	785	502	51	122	110
La Encantada	140	367	233	24	54	56
Gobea	25	114	55	4	32	23
Río Indio	37	106	80	0	16	10
Salud	58	198	134	23	20	21
Panamá Oeste	213	587	325	7	94	161
Cirí de los Sotos	44	124	66	0	17	41
Cirí Grande	57	153	91	0	27	35
El Cacao	88	245	124	5	43	73
Santa Rosa	24	65	44	2	7	12
<b>TOTAL</b>	<b>806</b>	<b>2,298</b>	<b>1,436</b>	<b>90</b>	<b>327</b>	<b>445</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

Como se indica en la Tabla 8, los requerimientos de agua para el ganado porcino varían según su peso y edad consumiendo los más pequeños 5 litros por día, hasta 13 litros por día, los más grandes<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> FAO. Manejo eficiente de Cerdos. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua. Pág. 33.

**Tabla 8: Consumo de agua de ganado porcino por día, mes y año (según tipo de animal)**

Tiempo	Machos y hembras de cría	Machos y hembras de reemplazo	Machos y hembras de ceba	Lechones y lechonas
Día (Litros)	8	11	13	5
Mes (Litros)	240	330	375	150
Año (m <sup>3</sup> )	3	4	5	2

Fuente: Secretaría de Agricultura y ganadería. Estimación de demandas de agua, México

El consumo de agua del ganado porcino de la cuenca hidrográfica de río Indio, alcanza los 6,984 m<sup>3</sup> y se desglosa en la Tabla 9.

**Tabla 9: Consumo de agua de ganado porcino en la cuenca de río Indio, por clase, según provincia y corregimiento**

Provincia y corregimiento	Consumo de agua de ganado porcino (m <sup>3</sup> )				
	Total	Clase			
		Machos y hembras de cría	Machos y hembras de reemplazo	Machos y hembras de ceba	Lechones y lechonas
Coclé	2,693	1,754	127	500	313
El Valle	163	69	8	59	27
Río Indio	1,986	1,313	119	333	221
Chiguirí Arriba	544	372		108	65
Colón	2,395	1,446	202	549	198
La Encantada	1,110	671	95	243	101
Gobea	360	158	16	144	41
Río Indio	320	230		72	18
Salud	605	386	91	90	38
Panamá Oeste	1,896	1,161	22	423	290
Cirí de los Sotos	340	190		77	74
Cirí Grande	447	262		122	63
El Cacao	702	357	20	194	131
Santa Rosa	407	352	2	32	22
<b>TOTAL</b>	<b>6,984</b>	<b>4,361</b>	<b>350</b>	<b>1,472</b>	<b>801</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

## Gallinas

De acuerdo al Censo Agropecuario del 2011, la población de aves domésticas de la cuenca del río Indio es de unas 107,764 gallinas, de las cuales el 58.10% son reproductoras, 23.77% son de cría doméstica y el 17.95% son de engorde. Cabe destacar que las explotaciones avícolas del corregimiento de El Valle no se encuentran registradas en los lugares poblados incluidos dentro de la cuenca (La Mesa y Altos de La Mesa).

**Tabla 10: Existencia de gallinas y gallos en la cuenca del río Indio**

Provincia y corregimiento	Existencia de gallinas <sup>15</sup> (cabezas)					Gallinas y gallos de pelea
	Total	Tipo de actividad				Cantidad (cabezas)
		Cría Domestica	Engorde	Reproductora	Ponedora	
Coclé	43,772	40,798	2,448	42	287	197
Río Indio	19,659	19,194	379	21	-	65
Chiguirí Arriba	24,113	21,604	2,069	21	287	132
Colón	18,837	18,644	52	0	0	141
La Encantada	9,921	9,869	20	-	-	32
Gobea	2,775	2,706	-	-	-	69
Río Indio	2,649	2,593	32	-	-	24
Salud	3,492	3,476	-	-	-	16
Panamá Oeste	45,155	41,214	3,519	0	2	420
Cirí de los Sotos	9,826	9,601	140	-	-	85
Cirí Grande	11,677	11,168	436	-	-	73
El Cacao	16,881	14,491	2,139	-	2	249
Santa Rosa	6,771	5,954	804	-	-	13
<b>TOTAL</b>	<b>107,764</b>	<b>100,656</b>	<b>6,019</b>	<b>42</b>	<b>289</b>	<b>758</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.<sup>16</sup>

<sup>15</sup>Incluye gallos, gallinas, pollos, pollas

<sup>16</sup>[https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=60&ID\\_PUBLICACION=480&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=15](https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=60&ID_PUBLICACION=480&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=15) (Cuadro 20)

Los requerimientos de agua para las gallinas están relacionados con la alimentación y con la edad, lo que significa que, al avanzar en etapas de crecimiento, más agua y alimentos se consumen. Además, se ha encontrado que estas aves consumen 1.8 litros por cada kilogramo de alimento consumido<sup>17</sup>. En la Tabla 11 se reflejan los valores basados en este consumo, considerando la etapa de crecimiento de las gallinas.

**Tabla 11: Consumo de agua de gallinas por día, mes y año (según tipo de animal)**

Tiempo	Cría Domestica	Engorde	Reproductora	Ponedora	Gallos
Día (Litros)	8	10	6	3	8
Mes (Litros)	240	300	165	99	240
Año (m <sup>3</sup> )	3	4	2	1	3

Fuente: Secretaria de Agricultura y ganadería. Estimación de demandas de agua. México

Utilizando estos valores presentados en la Tabla 12, se determinó que el consumo de agua de las gallinas de la cuenca de río Indio, alcanza los 313,980 m<sup>3</sup>.

---

<sup>17</sup>Cacurri, Raúl. Manejo de pollos de engorde y gallinas ponedoras. Universidad Rómulo Gallegos. Caracas, Venezuela. Pág. 19.

**Tabla 12: Gallinas: consumo de agua de en la cuenca de río Indio, según tipo de actividad, por provincia y corregimiento**

Provincia y corregimiento	Total	Gallinas. consumo de agua de (m <sup>3</sup> )				Gallinas y gallos de pelea
		Tipo de actividad				Cantidad (cabezas)
		Cría Domestica	Engorde	Reproductora	Ponedora	
Coclé	127,303	117,498	8,813	83	341	567
Río Indio	56,872	55,279	1,364	42		187
Chiguirí Arriba	70,431	62,220	7,448	42	341	380
Colón	54,101	53,695		0	0	406
La Encantada	28,587	28,423	72			92
Gobea	7,992	7,793				199
Río Indio	7,652	7,468	115			69
Salud	10,057	10,011				46
Panamá Oeste	132,577	118,696	12,668	0	2	1,210
Cirí de los Sotos	28,400	27,651	504		-	245
Cirí Grande	33,944	32,164	1,570		-	210
El Cacao	50,154	41,734	7,700		2	717
Santa Rosa	20,079	17,148	2,894		-	37
<b>TOTAL</b>	<b>313,980</b>	<b>289,889</b>	<b>21,481</b>	<b>83</b>	<b>343</b>	<b>2,183</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

**Otras especies (caballos, mulas, cabras, búfalos y ovejas)**

En el caso otras especies (caballos, mulas, cabras, búfalos y ovejas), dado que su cría se realiza en áreas cerradas y ella no depende de la superficie, se optó por la utilización de datos por corregimiento obtenidos del Censo Agropecuario 2011 (INEC Panamá).

De esta forma, se determinó que la población de caballos es la mayor de este grupo con 7,488 cabezas representando el 86.04 % del total. Las cabras son el segundo grupo en importancia con un 8.53% y unos 742 animales y los ovinos alcanzan el 4.27%.



En la Tabla 13 se presenta la composición de la población de caballos, yeguas, mulas, asnos, cabras búfalos y ovejas en la cuenca del río Indio; mientras que en la Tabla 14 se presenta el consumo unitario de estos animales.

**Tabla 13: Existencia de caballos, mulas, cabras, búfalos y ovejas en la cuenca del río Indio**

Provincia y corregimiento	Existencia de ganado (cabezas)						
	Caballos			Mular y asnal	Caprino	Bufalino	Ovino
	Total	Macho	Hembra	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Coclé	3,283	1,878	1,405	44	518	4	94
El Valle	69	53	16	2	484	-	34
Río Indio	2,267	1,254	1,013	38	34	4	48
Chiguirí Arriba	947	571	376	4	-	-	12
Colón	1,813	1,036	777	22	105	0	240
La Encantada	969	557	412	14	61	-	202
Gobea	232	138	94	6	18	-	16
Río Indio	213	105	108	1	26	-	11
Salud	399	236	163	1	-	-	11
Panamá Oeste	2,392	1,266	1,126	31	119	0	38
Cirí de los Sotos	908	447	461	6	1	-	15
Cirí Grande	481	271	210	9	39	-	11
El Cacao	546	276	270	6	54	-	3
Santa Rosa	457	272	185	10	25	-	9
<b>TOTAL</b>	<b>7,488</b>	<b>4,180</b>	<b>3,308</b>	<b>97</b>	<b>742</b>	<b>4</b>	<b>372</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

**Tabla 14: Consumo unitario de agua de caballos, mulas, cabras, búfalos y ovejas en la cuenca del río Indio, por provincia y corregimiento**

Tiempo	Caballar	Mular y asnal	Caprino	Bufalino	Ovino
Día (Litros)	40	20	7	36	5
Mes (Litros)	1,200	600	210	1,080	150
Año (m <sup>3</sup> )	14	7	3	13	2

Fuente: Secretaría de Agricultura y ganadería. Estimación de demandas de agua. México

El consumo de agua de caballos, yeguas, mulas y asnos, cabras, bufalinos y ovejas de la cuenca de río Indio, alcanza los 107,827m<sup>3</sup> y se desglosa por provincia y corregimiento en la Tabla 15.

**Tabla 15: Consumo anual de agua de caballos, mulas, cabras, búfalos y ovejas en la cuenca del río Indio, por provincia y corregimiento**

Provincia y corregimiento	Consumo de agua (m <sup>3</sup> )					Consumo total
	Caballos	Mular y asnal	Caprino	Bufalino	Ovino	
Coclé	47,275	317	1,305	52	169	49,118
El Valle	994	14	1,220	0	61	2,289
Río Indio	32,645	274	86	52	86	33,142
Chiguirí Arriba	13,637	29	0	0	22	13,687
Colón	26,107	152	265	0	432	26,956
La Encantada	13,954	101	154	0	364	14,572
Gobea	3,341	43	45	0	29	3,458
Río Indio	3,067	7	66	0	20	3,160
Salud	5,746	1	0	0	20	5,766
Panamá Oeste	34,445	223	300	0	68	35,036
Cirí de los Sotos	13,075	43	3	0	27	13,148
Cirí Grande	6,926	65	98	0	20	7,109
El Cacao	7,862	43	136	0	5	8,047
Santa Rosa	6,581	72	63	0	16	6,732
<b>TOTAL</b>	<b>107,827</b>	<b>692</b>	<b>1,870</b>	<b>52</b>	<b>670</b>	<b>111,111</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

### Consumo de agua en establos y otras instalaciones de atención al ganado

El agua utilizada en establos y otras instalaciones de atención al ganado se estima en base a la tabla 16:

**Tabla 16: Consumo de agua establos y otras instalaciones de atención al ganado en la cuenca de río Indio, por clase, según provincia y corregimiento**

Subsector	Unidad de medida	Existencias	Unidad de consumo	Consumo unitario en alojamientos <sup>18</sup>	Consumo de agua anual m <sup>3</sup>
Ganado Vacuno	Cabezas	16,095	1 x animal	40	234,990
Ganado Porcino	Cabezas	2,298	1 x animal	10	8,388
Aves de Corral	Unidades	107,764	1 x cada 100 aves	20	786,677
Ganado Caballar	Cabezas	7,488	1 x animal	40	109,325
Mulas y asnos	Cabezas	97	1 x animal	40	1,416
Cabras	Unidades	742	1 x animal	10	2,708
Búfalos	Unidades	4	1 x animal	40	58
Ovejas	Unidades	372	1 x animal	10	1,358
<b>Total</b>					<b>1,144,921</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

### Consumo de agua en sacrificio de animales

En la investigación realizada no se encontró la existencia de mataderos en la cuenca del río Indio, por lo cual este consumo no aplica.

### Cálculo matemático del consumo pecuario de agua

Para el cálculo de la demanda pecuaria de agua se utilizó la siguiente ecuación:

$$Dp = Cv + Cs + Cua$$

Donde,

Dp: demanda pecuaria

Cv: consumo vital en la fase de cría, levante y terminación

<sup>18</sup>Unidades de consumo: Melguizo B., Samuel. *Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de abasto en las edificaciones*. Centro de Publicaciones Universidad Nacional Medellín.

Cs: consumo en sacrificio

Cua: consumo en lugares de manejo y alojamiento animal

$$Cv = \sum Cva + Cp + Cc + Cav + Cb + Cca + Co$$

En donde,

Cva: Consumo vacuno

Cp: Consumo porcino

Cc: Consumo caballar

Cav: Consumo aves de corral

Cb: Consumo búfalos

Cca: Consumo cabras

Co: Consumo ovejas

**Tabla 17: Consumo de agua anual del sector pecuario en la cuenca de río Indio**

Variable	Subsector	Unidad de medida	Consumo de agua anual m <sup>3</sup>
Cva	Ganado Vacuno	Cabezas	394,070
Cp	Ganado Porcino	Cabezas	6,984
Cav	Aves de Corral	Unidades	313,980
Cc	Ganado Caballar	Cabezas	107,827
Cc	Mulas y asnos	Cabezas	692
Cca	Cabras	Unidades	1,870
Cb	Búfalos	Unidades	52
Co	Ovejas	Unidades	670
Cv	<b>TOTAL</b>		<b>826,144</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

En consecuencia, la demanda pecuaria de agua en la cuenca de río Indio es de:

$$Dp = Cv + Cs + Cua$$

$$Dp = 826,144 \text{ m}^3 + 0 + 1,144,921 \text{ m}^3$$

$$Dp = 1,971,065 \text{ m}^3$$

### 3.2.3 DEMANDA DE AGUA EN EL SECTOR AGRÍCOLA

El cálculo del uso del recurso hídrico en el sector agrícola se acota a partir de dos componentes: i) la estimación del agua extraída con fines agrícolas, mediante la agregación del uso consuntivo y el agua extraída no consumida; y ii) el valor agregado por consumo de agua en las actividades de post-cosecha.

Las variables utilizadas para el cálculo de la demanda de agua para uso agrícola son las siguientes:

- Área, producción y rendimiento de cultivos temporales o permanentes para el año base seleccionado.
- Periodos de crecimiento o de longitud de tiempo acordes con las fases de crecimiento de los cultivos.
- Calendario de siembra acorde con la condición de permanentes o transitorios.
- $Kc$  por tipo de cultivo asociado a cada una de las fases de crecimiento de cultivos.

La fórmula de cálculo aplicada para la demanda agrícola se expresa así:

$$Da = 10 \sum_{d=1}^{lp} \left[ \frac{(Kc \times ETp) - \frac{(P \times Ke)}{100}}{Kr} \right] \times A$$

En donde,

Da: requerimiento de agua del cultivo ( $m^3/ha$ )

10: es el factor que aplica para convertir a  $m^3/ha$

$lp$ : duración del periodo de crecimiento

$Kc$ : coeficiente cultivo

$ETp$ : evapotranspiración de referencia potencial

P: precipitación en mm

Ke: coeficiente de escorrentía

Kr: coeficiente de eficiencia de riego

A: área sembrada

### *Cultivos Temporales*

Para calcular la demanda de agua de los cultivos temporales, se procedió a seleccionar los rubros que se trabajan en el área. Estos son: arroz, maíz, frijol de bejuco, guandú, ñame, ñampí, otoi, yuca y tomate de mesa. En la Tabla 18 se presentan los resultados de la demanda agrícola de cultivos temporales por rubros.

Dado que no se contaba con los datos exactos de la producción agrícola de la cuenca se procedió a estimar superficie agrícola que se encuentra dentro la cuenca de río Indio, utilizando para ello los mapas existentes, de manera tal que se determinó la proporción de esta superficie aplicando tal proporción a los datos por corregimiento. Posteriormente se utilizó el dato de rendimiento por hectárea, para cada rubro y se proyectaron las producciones correspondientes.

El volumen total de agua consumida por los cultivos temporales en un año es de 42,038,995 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>). Los rubros que presentan una mayor demanda de agua por hectárea son el tomate de mesa y los tubérculos. En el caso del arroz, los consumos corresponden a la producción en seco.

**Tabla 18: Demanda agrícola de agua de cultivos temporales**

Variable	Unidad de medida	Arroz	Maíz	Frijol	Guandú	Ñame	Ñampi	Otoe	Yuca	Tomate de mesa	TOTAL
<b>Da</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>23,221,789</b>	<b>3,605,755</b>	<b>443,942</b>	<b>59,874</b>	<b>11,853,379</b>	<b>112,542</b>	<b>622,853</b>	<b>2,096,742</b>	<b>22,119</b>	<b>42,038,995</b>
Factor de conversión m <sup>3</sup> a ha		10	10	10	10	10	10	10	10	10	
lp	días	130	120	90	120	210	210	210	210	145	
Kc		0.65	0.5	0.9	0.9	0.95	0.95	0.95	0.95	0.8	
Etp	mm/año	1,567	1,567	1,567	1,567	1,567	1,567	1,567	1,567	1,567	
P	mm/año	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	
Ke		0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	
Kr		0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	
A	ha	1,502	304.40	63.20	8.52	551.62	5.24	28.99	97.58	1.16	
Da anual x ha	m <sup>3</sup>	15,462	11,845	7,024	7,024	21,488	21,488	21,488	21,488	19,078	
Da diaria x ha	m <sup>3</sup>	118.9	98.7	78.0	58.5	102.3	102.3	102.3	102.3	131.6	

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

Notas:

- Coeficientes de cultivo (K), Coeficiente de riego (Kr). Fuente: Estimación de la demanda de agua. IDEAM. Bogotá, Colombia 2010. Pág. 192.
- Evapotranspiración (Etp), Precipitación (P), Escorrentía (Ke). Fuente: Informe Final de la Región Occidental de la Cuenca del Canal y ETESA.

### Cultivos Permanentes

En lo que se refiere a la demanda de agua de los cultivos permanentes, los productos más relevantes son: café, banano, plátano, caña de azúcar, piña, naranja y limones. La metodología que se aplicó para calcular la demanda de agua de los cultivos permanentes fue similar a la que se utilizó para los cultivos temporales. En la Tabla 19 se presentan los resultados de la demanda de agua de cultivos permanentes por producto.

El volumen total de agua anual consumida por los cultivos permanentes es de 18,137,993 Mm<sup>3</sup>. En la cuenca del río Indio, los productos que usan agua en la fase de post-cosecha son principalmente el banano y el café, en el cual el agua se aplica en las labores de despulpe, remoción del mucílago y lavado.

La relación insumo-producto del café se mueve en un rango entre 40 y 60 l/kgcps<sup>19</sup> y es de 1 l/kgcps cuando se trata de beneficio ecológico<sup>20</sup>. Para efectos de obtener el volumen de agua en las operaciones de post-cosecha aplicaremos como promedio equivalente a 45 l/kg<sup>21</sup>. Por su parte, el consumo de agua utilizada en la fase de post-cosecha del banano busca la remoción del látex y el lavado de la fruta producida mediante la inmersión de los racimos en grandes pilas o piscinas con agua en movimiento, en donde se espera que por diferencia de presión salga el látex de los canales laticíferos y se diluya en el agua. El valor promedio que se aplicará para calcular el agua necesaria para la post-cosecha en el banano es de 7.5 l/kg<sup>22</sup>.

---

<sup>19</sup> L/kgcps: Litros/ kilogramos de café pergamino seco

<sup>20</sup> Estimación de la demanda de agua. IDEAM. Bogotá, Colombia 2010. Pág. 194.

<sup>21</sup> Ibid. Pág 195

<sup>22</sup> Ibid. Pág 194



**Tabla 19: Demanda agrícola de agua de cultivos permanentes**

Variable	Unidad de medida	Café	Banano	Plátano	Caña	Piña	Naranja	Limones	TOTAL
Da	m <sup>3</sup>	16,032,957	277,797	1,423,278	158,345	27,805	53,034	164,718	18,137,933
Factor de conversión m <sup>3</sup> a ha		10	10	10	10	10	10	10	
Kc		1.09	0.77	1.13	0.8	0.5	0.66	0.66	
Etp	mm/año	1567	1567	1567	1567	1567	1567	1567	
P	mm/año	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	
Ke		0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	0.542	
Kr		0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	
A	Ha	615.0	15.1	52.6	8.3	2.3	3.4	10.5	
Da anual x ha	m <sup>3</sup>	26,069	18,354	27,033	19,078	11,845	15,703	15,703	
Da diaria x ha	m <sup>3</sup>	71.4	50.3	74.1	52.3	32.5	43.0	43.0	

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

Notas:

- Coeficientes de cultivo (K), Coeficiente de riego (Kr). Fuente: Estimación de la demanda de agua. IDEAM. Bogotá, Colombia 2010. Pág. 190.
- Evapotranspiración (Etp), Precipitación (P), Escorrentía (Ke). Fuente: Informe Final de la región Occidental de la Cuenca del canal y ETESA.

En la Tabla 20 se presenta el cálculo de agua post-cosecha para el café y el banano.

**Tabla 20: Demanda agrícola de agua de cultivos permanentes en post-cosecha**

Rubro	Consumo de agua (l x kg)	Producción quintal (QQ)	Consumo de agua (litros)	Consumo de agua (m <sup>3</sup> )
Café	45	2,975	6,072,463	6,072
Banano	8	78,468	26,694,343	26,694
<b>TOTAL</b>			<b>32,766,806</b>	<b>32,767</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

### 3.2.4 CONSUMO INDUSTRIAL

En la cuenca de río Indio, las actividades que se pueden clasificar en este ramo son aquellas pertenecientes a la agroindustria: producción de huevos, queso y leche por una parte y la preparación de jugo, miel de caña. En la Tabla 21 se presenta el consumo de agua de estas actividades.

Por otra parte, tenemos, lo que denominamos las otras industrias que incluyen la fabricación de materiales de construcción (bloques de cemento, yeso y otros) y la elaboración de pan. Con ellas se calculó el consumo de agua de los colaboradores (ver Tabla 22) y las necesidades de agua de la producción de bienes (ver Tabla 23) en otras industrias.

**Tabla 21: Demanda Agrícola de agua en agroindustria**

Producto	Unidad de producción	Producción <sup>23</sup>	Unidad de consumo de agua	Consumo unitario de agua (litros) <sup>24</sup>	Consumo anual en la cuenca en m <sup>3</sup>
Huevo	Unidad	855,158	litros x huevo	135	115,446
Jugo de caña	Litros	1670	litros de agua x 1 litro de caña de azúcar	70	443
Miel de caña	Litros	390	litros de agua x 1 litro de caña de azúcar	70	27
Queso	Libras	33	litros de agua x kg de queso	5000	166
Leche	Litros	34,161	litros de agua x 1 litro de leche	1000	34,161
<b>TOTAL</b>					<b>150,243</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Censo Agropecuario 2011.

**Tabla 22: Consumo de agua de colaboradores en otras industrias**

Actividad	Empleados <sup>25</sup>	Consumo L/día por empleado <sup>26</sup>	Consumo L/año por empleado	Consumo humano anual (m <sup>3</sup> )
Elaboración de productos de molinería	4	80	24,960	24.96
Elaboración de productos de panadería	4	80	24,960	24.96
Fabricación de artículos de hormigón, cemento, yeso y panalit	4	80	24,960	24.96
<b>TOTAL</b>				<b>74.88</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Directorio de Establecimientos

<sup>23</sup> [https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=60&ID\\_PUBLICACION=480&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=15](https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=60&ID_PUBLICACION=480&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=15) (Cuadros 22 y 44)

<sup>24</sup> Consumos unitarios de agua obtenidos de Aguirre, Alexandra. Determinación de la dotación de agua. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Bogotá. Colombia.

<sup>25</sup> INEC Panamá. Directorio de Establecimientos

<sup>26</sup> Consumos unitarios de agua obtenidos de Aguirre, Alexandra. Determinación de la dotación de agua. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Bogotá. Colombia.

Tabla 23: Consumo de agua para la producción en otras industrias

Actividad	Unidad de medida	Producción anual <sup>27</sup>	Unidad de consumo	Consumo de agua por unidad <sup>28</sup>	Consumo total m <sup>3</sup>
Elaboración de productos de molinería	Tonelada	238.1	(m <sup>3</sup> ) x ton	20	4,762
Elaboración de productos de panadería	Tonelada	54.5	(m <sup>3</sup> ) x ton	15	818
Fabricación de bloques de cemento	unidades	150,000	L x bloque	11.36	1,704
<b>TOTAL</b>					<b>7,284</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Directorio de Establecimientos

*Fórmula para el cálculo del consumo industrial*

$$CaI = Caai + Ccaoi + Capoi$$

En donde,

CaI: Consumo de agua en industrias

Caai: Consumo de agua en agroindustria

Ccaoi: Consumo de colaboradores en otras industrias

Capoi: Consumo de agua para la producción en otras industrias

$$CaI = Caai + Chaoi + Capoi$$

$$CaI = 150,243 + 74.88 + 7,284$$

$$CaI = 157,601.88 \text{ m}^3$$

El consumo de agua anual en la industria de la cuenca de río Indio, asciende a 157,601.88 m<sup>3</sup>.

<sup>27</sup> INEC Panamá. Directorio de Establecimientos

<sup>28</sup> Consumos unitarios de agua obtenidos de Aguirre, Alexandra. Determinación de la dotación de agua. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Bogotá. Colombia.

### 3.2.5 CONSUMO EN EL SECTOR COMERCIOS Y SERVICIOS

Para poder calcular la demanda de agua del sector servicios, debemos tener los datos de los locales comerciales del área de la cuenca y el metraje de los mismos. De acuerdo con la información obtenida del directorio de establecimientos de la Contraloría General de la República, en la cuenca de río Indio hay 56 locales que se dedican a las actividades de comercio y 48 a los servicios.

El 92% de los locales comerciales son abarroterías, tiendas y kioskos. En los servicios se destacan las actividades de organizaciones religiosas y las discotecas, bares y cantinas.

En la Tabla 24 se presenta el consumo de agua de los locales comerciales y en la Tabla 25 las actividades de servicios de la cuenca del río Indio<sup>29</sup>.

Explicación matemática del consumo de los servicios:

$$C_{ass} = C_{ac} + C_{aas}$$

En donde,

C<sub>ass</sub>: Consumo de agua del sector servicios

C<sub>ac</sub>: Consumo de agua del comercio

C<sub>aas</sub>: Consumo de agua de las actividades de servicios

$$C_{ass} = C_{ac} + C_{aas}$$

$$C_{ass} = 8,845.49 \text{ m}^3 + 25,218 \text{ m}^3$$

$$C_{ass} = 34,063 \text{ m}^3$$

El consumo total de agua del sector servicios es de 34,063 metros cúbicos.

---

<sup>29</sup>Consumos unitarios de agua obtenidos de Aguirre, Alexandra. Determinación de la dotación de agua. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Bogotá. Colombia.

**Tabla 24: Consumo de agua en locales comerciales de la cuenca de río Indio**

Actividades	Establecimientos <sup>30</sup>	Tamaño (m <sup>2</sup> ) <sup>30</sup>	Consumo de agua por local (L/día x m <sup>2</sup> ) <sup>31</sup>	Consumo anual de agua (m <sup>3</sup> )	Consumo anual de agua todos los establecimientos (m <sup>3</sup> )
Venta al por menor de abarrotes (tiendas, kioscos, etc.)	52	20	20	144	7,479.36
Venta al por menor de utensilios domésticos y cubiertos, artículos de loza, vidrio, porcelana y cerámica	1	40	6	86.4	45.79
Venta al por menor de combustible para artículos domésticos gas envasado, carbón y combustible de madera	1	40	20	288	152.64
Venta al por menor de flores, plantas. Semillas y fertilizantes	1	40	20	288	305.28
Venta al por menor en puestos de ventas y mercados de artículos textiles, ropa, calzado y otras mercancías (Buhonería)	1	20	6	43.2	22.90
Minisúper	1	100	20	720	763.20
Transporte	1	20	20	144	76.32
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>				<b>8,845.49</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Directorio de Establecimientos

<sup>30</sup> INEC Panamá. Directorio de Establecimientos

<sup>31</sup> Consumos unitarios de agua obtenidos de Aguirre, Alexandra. Determinación de la dotación de agua. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Bogotá. Colombia

**Tabla 25: Consumo de agua en actividades de servicio de la cuenca de río Indio**

Actividades	Locales <sup>32</sup>	Tamaño (m <sup>2</sup> ) <sup>32</sup>	Consumo de agua por local (L/día x m <sup>2</sup> ) <sup>33</sup>	Consumo anual de agua (m <sup>3</sup> )	Consumo anual de agua todos los establecimientos (m <sup>3</sup> )
Actividades de organizaciones religiosas	18	50	6	108	1,944
Actividades de peluquería y otros tratamientos de belleza	1	40	20	288	288
Servicio en bares, cantinas, discotecas y jardines	16	30	50	540	8,640
Servicios en restaurantes	6	30	50	540	3,240
Servicio en refresquerías	2	20	40	288	576
Servicio de alojamiento en Hoteles	4	100	70	2,520	10,080
Servicio de alojamiento en pensiones y residenciales	1	50	25	450	450
<b>Total comercio y servicios</b>	<b>48</b>				<b>25,218</b>

Fuente: Elaborado por ERM sobre la base de información del INEC Panamá. Directorio de Establecimientos.

<sup>32</sup> INEC Panamá. Directorio de Establecimientos

<sup>33</sup> Consumos unitarios de agua obtenidos de Aguirre, Alexandra. Determinación de la dotación de agua. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Bogotá. Colombia

### 3.2.6 CONSUMO EN EL SECTOR ENERGÍA

En la cuenca de río Indio, no hay registros de sistemas de producción de energía tales como hidroeléctricas, termoeléctricas o mini-hidroeléctricas, por lo cual este consumo no aplica.

### 3.2.7 CONSUMO EN EL SECTOR ACUÍCOLA

De acuerdo con el Boletín Estadístico de Pesca y Acuicultura 2013-2014 de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP)<sup>34</sup>, en el área de la cuenca de río Indio se encuentran activos dos módulos de producción de acuícola, uno de ellos en la comunidad de Tres Hermanas y el otro en el nacimiento de río Indio.

Estos módulos se dedican principalmente a la producción de **tilapias** que son criadas en estanques con tamaños entre los 50 y 200 m<sup>2</sup>. Cada uno de estos módulos consta de tres estanques. La producción anual alcanza las 75,000 libras.

De acuerdo con las especificaciones técnicas para el cultivo de tilapia estipuladas en el documento técnico denominado "*Capacidad de Carga vs. Calidad de Agua en Acuicultura*" (Guerrero, 2012), para el proceso de siembra, cría y cosecha de 12 kg (26.5 lb) se necesita 1 litro por minuto<sup>35</sup>. Ello indica que, para producir 75,000 libras de tilapia al año en la cuenca de río Indio, se ha requerido 1.47 millones de m<sup>3</sup>.

---

<sup>34</sup><http://arap.gob.pa/wp-content/uploads/2016/03/BOLETIN-ESTADISTICO-DE-PESCA-Y-ACUICULTURA-2013-2014.pdf>

<sup>35</sup><http://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/2Capacidad%20de%20Carga%20vs%20calidad%20del%20agua%20Jaime%20Guerrero.pdf>



### 3.3 CÁLCULO TOTAL DE LA DEMANDA SOCIOECONÓMICA

La demanda hídrica total de la cuenca del río Indio, conforme a los sectores analizados, alcanza los 64.2 Mm<sup>3</sup>. En la Tabla 26 se resumen los resultados por sectores de la demanda por uso y su participación porcentual con respecto al total. La actividad agrícola de cultivos temporales es la mayor consumidora del agua de la cuenca.

*Tabla 26: Demanda hídrica anual por sectores*

Sector	Consumo m <sup>3</sup>	%
Seres humanos	404,788	0.63%
Ganado vacuno	394,070	0.61%
Ganado porcino	6,984	0.01%
Aves de Corral	313,980	0.49%
Caballos y otros	111,111	0.17%
Consumo de agua en establos y otras áreas para ganado	1,144,921	1.78%
Cultivos temporales	42,038,995	65.45%
Cultivos permanentes <sup>36</sup>	18,170,700	28.29%
Industrias	157,602	0.25%
Servicios	22,211	0.03%
Energía eléctrica	0	0.00%
Actividades acuícolas	1,469,641	2.29%
<b>TOTAL</b>	<b>64,235,002</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: ERM, septiembre 2017

### VALORACIÓN MONETARIA DEL CONSUMO DE AGUA DE LA CUENCA DE RÍO INDIO

Para el cálculo del valor monetario de los consumos de agua para cada sector identificado en la cuenca de río Indio, se realizó el siguiente procedimiento:

---

<sup>36</sup> Incluye demanda de agua de cultivos permanentes para la etapa de post-cosecha (47,634 m<sup>3</sup>)

Se aplicó la fórmula

$$VECARI = \sum CasRI * Pas$$

En donde,

VECARI: Valor económico del consumo de agua de río Indio

CasRI: Consumo de agua por sector en la cuenca de río Indio

Pas: Precio del agua por sector

Los precios unitarios de los consumos de agua doméstico, industrial, comercial y de servicios, corresponden a las tarifas del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), registradas ante la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP) para las zonas rurales. Para los precios para el consumo de agua del sector pecuario, se adoptó como dato de referencia las tarifas que ACP que se utiliza a nivel de la Cuenca Hidrográfica del Canal, para darle un valor de agua cruda para usos pecuarios. Las tarifas para los consumos agrícolas y de generación de energía eléctrica, corresponden a MiAMBIENTE.

El valor monetario de los consumos de agua dentro de la cuenca de río Indio ascienden a B/ 224,975.23. En la Tabla 27 se indica que el precio unitario más bajo de la tabla de tarifas corresponde al sector eléctrico y el más alto corresponde a los sectores industrial, comercial y de servicios.

**Tabla 27: Valor monetario de los consumos de agua dentro de la cuenca de río Indio**

Sector	Consumo m <sup>3</sup>	Unidad de medida	Precio unitario	Monto B/.
Consumo doméstico (1)	404,788	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.19	76,909.72
Ganado vacuno (2)	394,070	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.035	13,792.44
Ganado porcino (2)	6,984	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.035	244.44
Aves de Corral (2)	313,980	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.035	10,989.30
Caballos y otros (2)	111,111	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.035	3,888.89
Consumo de agua en alojamientos de ganado (2)	1,144,921	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.035	40,072.23
Cultivos temporales ha (3)	5,541	B/. /Hectárea/año	1	5,541.00
Cultivos permanentes ha (3)	1,612	B/. /Hectárea/año	1	1,612.00
Industrias (1)	157,602	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.4	63,040.80
Comercio y Servicios (1)	22,211	B/. / m <sup>3</sup> /año	0.4	8,884.41
<b>TOTAL</b>				<b>224,975.23</b>

Fuente: ERM, septiembre 2017

Notas: IDAAN Consumo doméstico rural<sup>37</sup>, (2) Tarifas ACP<sup>38</sup>, (3) MiAMBIENTE, Dirección de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas<sup>39</sup>

### 3.4 CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA: COMPONENTE BIOLÓGICO

En general, los ríos se caracterizan por presentar diferentes ambientes asociados a las condiciones de cada zona. De esta forma, el tramo alto o curso superior, tiende a ser una zona de tierras altas con canales más estrechos que avanzan por terrenos más escarpados; en algunas ocasiones se pueden encontrar cascadas, rápidos y quebradas con valles o zonas en forma triangular debido a la erosión sobre el terreno. En esta zona se encuentra, habitualmente, un caudal de agua con más energía, produciendo en algunos casos turbulencias. Posteriormente, en el tramo medio, el cauce del río es más ancho y cuenta con un caudal y volumen de agua algo mayor que en el curso superior. La erosión del terreno puede formar secciones curvas o meandros. En mayor o menor medida, los cursos de agua presentan giros debido a que el agua no fluye a

<sup>37</sup> [http://www.asep.gob.pa/index.php?option=com\\_content&view=article&id=138&Itemid=120](http://www.asep.gob.pa/index.php?option=com_content&view=article&id=138&Itemid=120)

<sup>38</sup> <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2017/05/2030-0000.pdf>

<sup>39</sup> MiAMBIENTE. Plan Nacional de Gestión de Recursos Hídricos de la República de Panamá. 2010-2030. Panamá. 2011 Pág. 74.

la misma velocidad en todas las secciones. Por último, en el tramo bajo, el volumen de agua y la energía son mayores, con un terreno circundante más plano y con secciones que se pueden cubrir de agua durante la temporada de inundación.

Esta descripción general en cuanto a la estructura de los cauces, también es aplicable a la cuenca de río Indio, aun cuando la misma se ubica en la vertiente del Caribe (en donde se presentan pendientes más pronunciadas que en la vertiente del Pacífico); es decir, los canales tienden a ser más estrechos y con más energía en los tramos altos, en los tramos medios el caudal se ensancha y presentan un mayor volumen de agua, y en el bajo, el terreno tiende a ser más plano. Del mismo modo, dichas características generales indican que las distintas partes de un río pueden tener hábitats muy diversos con especies asociadas a cada uno de ellos, razón por la cual el método de captura debe adecuarse a cada lugar.

La evaluación de la fauna y flora (macrófitas) asociada a estos cuerpos de agua permite obtener una visión de las condiciones de los cuerpos de agua. La estructura poblacional juega un papel importante a la hora de conocer si un río, quebrada o lago, es decir, los ambientes lóticos y lénticos, se encuentran en buen o mal estado. La relación entre las especies que lo componen es de ayuda a la hora de evaluar las condiciones del ecosistema e inclusive se pueden encontrar especies que nos indican la calidad de los mismos. En el Anexo 3 se amplía la información del componente biológico.

### **3.4.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DEL COMPONENTE BIOLÓGICO**

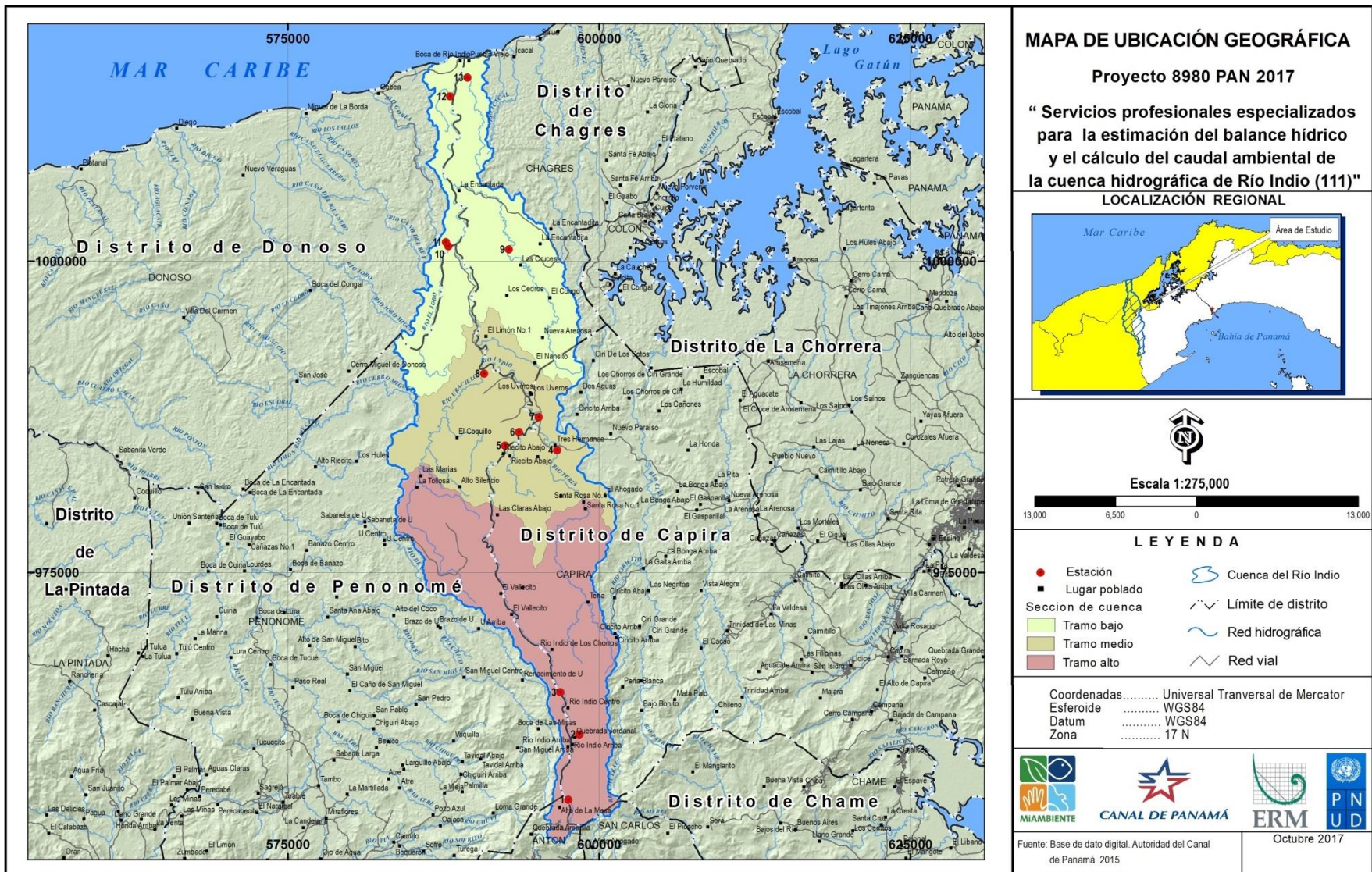
Se llevó a cabo una campaña de recolección de muestras en diferentes puntos en los tramos alto, medio y bajo de la cuenca hidrográfica del río Indio. Para tal efecto, se utilizaron diferentes artes de pesca como atarrayas, chinchorros y electro pesca, dependiendo de las características de la zona donde se encontraba la estación

designada (ver Tabla 28). En la Figura 5 se adjunta mapa de los sitios en los que se realizó el muestreo.

**Tabla 28: Estaciones y coordenadas de los sitios de muestreo en los tramos alto, medio y bajos de la cuenca hidrográfica de río Indio**

Estación	Sitio de muestro	Localidad	Coordenadas	
			E	N
Tramo alto	1	Río Indio Arriba	0597547	0956769
	2	Río Indio (Jordanal)	0598431	0962017
	3	Río Indio (Barrio Unido)	0596897	0965384
Tramo medio	4	Río Teriá	0596641	0984850
	5	Río Indio (San Cristóbal)	0592447	0985191
	6	Río Indio (Tres Hermanas)	0593561	0986294
	7	Río Indio (Uvero)	0595170	0987502
	8	Río Uracillo	0590773	0990983
Tramo bajo	9	Quebrada La Encantada	0592751	1000948
	10	Quebrada El Jobo (Jobo Arriba)	0587907	1001200
	11	El Jobo (Guayabalito)	0587701	1001554
	12	Quebrada Chilar	0588054	1013240
	13	Quebrada Membrillar	0589432	1014747

Fuente: ERM, septiembre 2017



Fuente: ERM, septiembre 2017

**Figura 5: Ubicación geográfica de los sitios de muestreo biológico en los tramos alto, medio y bajo del río Indio**

### 3.4.2 HALLAZGOS DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS

#### FAUNA ICTIOLÓGICA

Siete (7) órdenes de peces fueron identificados en los trece (13) sitios de muestro ubicados dentro de la cuenca de río Indio. Veintitrés (23) especies de peces se reparten entre once (11) familias. Desde el punto de vista de la riqueza de especies, el orden más representativo fue el de los Characiformes, con once (11) especies; nueve (9) pertenecientes a la familia Characidae y dos (2) a la familia Lebiasinidae. Los perciformes están representados por cinco especies, pertenecientes casi todas (4) a la familia Eleotridae, mientras que solo una representa a la familia Gobiidae. El siguiente orden en representatividad son los Siluriformes con (3) especies: dos (2) agrupados en la familia Loricariidae y una en la familia Trichomycteridae. Los Cyprinodontiformes y Mugiliformes están representados por dos especies cada grupo mientras que, de los Atheriniformes y Gymnotiformes, solo aparece una especie por cada orden. Por mucho, el góbido *Sicydium altum*, es la especie más conspicua con ciento sesenta (160) ejemplares capturados para todos los sitios de muestreo.

#### Tramo alto de la cuenca

Doscientos cuarenta y siete (247) individuos fueron colectados en la primera estación (tramo alto del río Indio), los cuales se distribuyeron en doce (12) especies. *Trichomycterus striatus* o barbudillo fue la especie más representativa con cincuenta y siete (57) ejemplares seguido por el chupa piedra *Ancistrus chagresi* con cuarenta y tres (43) y la sardina *Brycoamericus emperador*, con treinta y cuatro (34). De todos los sitios de muestreo en este tramo de la cuenca, el ubicado en río Indio Arriba (Punto 1), presenta el mayor número de organismos, seguido por el ubicado en río Indio a la altura de la comunidad de Jordanal y el Punto 3 cerca de Barrio Unido.

La mayoría de las especies se presentan en todos los puntos de muestro, lo cual parece indicar que existe una buena distribución de especies en esta zona (Tabla 29).

**Tabla 29: Especies de peces reportados en el tramo alto de la cuenca hidrográfica del río Indio**

<b>Especies</b>	<b>Río Indio Arriba</b>	<b>Río Indio (Jordanal)</b>	<b>Río Indio (Barrio Unido)</b>
<i>Brycon petrosus</i>	9	5	4
<i>Brycon chagresis</i>	5	2	7
<i>Agonostomus monticola</i>	2	6	0
<i>Bryconamericus emperador</i>	22	8	4
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i>	14	10	1
<i>Poecilia gillii</i>	3	1	4
<i>Piabucina panamensis</i>	2	0	0
<i>Andicnoacara coeruleopunctatus</i>	5	3	3
<i>Rhamdia quelen</i>	4	2	0
<i>Ancistrus chagresi</i>	4	24	15
<i>Trichomycterus striatus</i>	27	18	12
<i>Sicydium altum</i>	6	3	12

Fuente: ERM, septiembre 2017

El índice de Shannon indica valores medios considerando la relación entre la riqueza de especies y la abundancia de las mismas. En el tramo alto de la cuenca de río Indio se presentó el valor más alto con 2.133 bels y ciento tres individuos capturados. Sin embargo, la equidad fue mayor en el sitio de muestreo Río Indio, ubicado cerca de Barrio Unido con 0.8961 (ver Tabla 30).



**Tabla 30: Análisis de diversidad realizado a los peces colectados en la Tramo alto del río Indio**

Tramo alto	Río Indio Arriba	Río Indio (Jordanal)	Río Indio (Barrio Unido)	Total
Taxones	12	11	9	9
Individuos	103	82	62	62
Shannon	2.133	2.015	1.969	1.969
Equidad	0.8582	0.8403	0.8961	0.8961

Fuente: ERM, septiembre 2017

### Tramo medio

Trescientos cincuenta y seis (356) individuos fueron colectados en el tramo medio del río Indio. Los especímenes se distribuyeron en veinte (20) especies y once (11) familias. Los peces mejor representados fueron el góbido *Sicydium altum* o titi, con ciento veinticuatro (124) ejemplares, treinta y ocho (38) de la lisa, *Agonostomus monticola* y treinta y un (31) ejemplares de la sardina *Astyanax aeneus*.

El río Teriá presenta una gran cantidad de peces capturados con noventa y siete (97), mientras que en río Indio a la altura de las comunidad Tres Hermanas y San Cristóbal se colectaron ochenta y dos (82) y ochenta (80), respectivamente. La mayor cantidad de especies por sitio de muestreo fue reportada en San Cristóbal (17 especies) y el río Teriá (16 especies). Algunas especies presentaron una amplia distribución en el tramo medio de la cuenca, reportándose en todos los sitios de muestreo; entre ellas se destacan: *Astyanax aeneus*, *Agonostomus monticola*, *Andinoacara coeruleopunctatus*, *Brachyrhaphis cascajalensis*, *Poecilia gillii*, *Sicydium altum* y *Trichomycterus striatus* (Tabla 31).

**Tabla 31: Especies de peces reportados en el tramo medio del río Indio**

Especies	Río Teriá	Río Indio (San Cristóbal)	Río Indio (Tres Hermanas)	Río Uvero	Río Uracillo
<i>Astyanax aeneus</i>	5	9	11	3	3
<i>Roeboides loftini</i>	1	3			1
<i>Hyphessobrycon panamensis</i>	2	3	8		
<i>Gephyrocharax intermedius</i>	2				
<i>Brycon petrosus</i>	5	10			4
<i>Brycon chagresis</i>	2	1	1		
<i>Agonostomus monticola</i>	9	6	9	10	4
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i>	8	6	6	4	5
<i>Poecilia gillii</i>	2	1	1	4	1
<i>Andinoacara coeruleopunctatus</i>	3	3	1	4	3
<i>Rhamdia quelen</i>	1	1	3	1	
<i>Ancistrus chagresi</i>	3	1	5	1	
<i>Trichomycterus striatus</i>	6	3	1	4	1
<i>Sicydium altum</i>	45	21	30	24	4
<i>Fonchiiichthys uracanthus</i>	1				
<i>Joturus pichardi</i>	2	1	1	2	
<i>Gobiomorus dormitor</i>		4	5	5	2
<i>Atherinella milleri</i>		5			
<i>Eliotris pisoni</i>				2	2
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>		2		1	2

Fuente: ERM, septiembre 2017

La diversidad en el tramo medio presenta su valor más alto en la quebrada La Encantada con 2.536 (Tabla 32), mientras que la más baja se observó en el río Teriá. Al parecer, todos los sitios de muestreo poseen una diversidad de media a media alta si consideramos solo las especies de peces colectadas. Esta estación (tramo medio) muestra una equidad un poco menor que la estación del tramo alto, sin embargo, esto puede estar ligado a que algunos sitios de muestreo se encuentran en zonas adyacentes a potreros, lugares de cultivo o comunidades, lo que afecta en alguna medida los cálculos realizados.

**Tabla 32: Análisis de diversidad realizado a los peces colectados en el tramo medio del río Indio**

	Río Teriá	Río Indio (San Cristóbal)	Río Indio (Tres Hermanas)	Río Uvero	Río Uracillo	Total
<b>Taxones</b>	16	17	13	13	12	20
<b>Individuos</b>	97	80	82	65	32	356
<b>Shannon_H</b>	2.017	2.427	2.029	2.088	2.358	2.358
<b>Equidad J</b>	0.7276	0.8566	0.7911	0.8142	0.9491	0.787

Fuente: ERM, septiembre 2017

### Tramo bajo de la cuenca

Ciento veinticinco (125) peces (ver Tabla 33) fueron colectados en el tramo bajo del río Indio siendo la sardina lira, *Atherinella milleri* (10 ejemplares), el organismo más conspicuo, seguido por la sardina *Astyanax aeneus* (8 individuos) y por el peje sapo *Eleotris pisonis* (7 especímenes). La quebrada El Jobo (Jobo Arriba) fue la que presentó la mayor cantidad de especies por sitio de muestreo con siete especímenes. No hay ninguna especie que particularmente se distribuya en todos los sitios de muestreo, sin embargo *Eleotris pisonis*, *Atherinella milleri*, *Astyanax aeneus*, *Rhamdia quelen*, y *Gobiomorus dormitor* se reportan por lo menos en dos de los cuatro sitios de muestreo evaluados en la estación correspondiente al tramo bajo de la cuenca hidrográfica del río Indio.

**Tabla 33: Especies de peces reportados en el tramo bajo de río Indio**

Especies	Nombre común	Qda. La Encantada	Qda. El Jobo (Jobo Arriba)	El Jobo (Guayabalito)	Qda. Chilar	Qda. Membrillar
<i>Agonostomus monticola</i>	Lisa		1			
<i>Ancistrus chagresi</i>	Chupapiedra, Wacuco	3				
<i>Andinoacara coeruleopunctatus</i>	Choveca, chogorro	8	1			
<i>Astyanax aeneus</i>	sardina	12	5	3		
<i>Atherinella milleri</i>	Sardina lira		4	6		

Especies	Nombre común	Qda. La Encantada	Qda. El Jobo (Jobo Arriba)	El Jobo (Guayabalito)	Qda. Chilar	Qda. Membrillar
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>	Macana	1				
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i>	Parivivo	6		5		
<i>Brycon chagresis</i>	Sardina	2				
<i>Brycon petrosus</i>	Sardina plateada	6	3			
<i>Dormitator latifrons</i>	Guapote				1	
<i>Eleotris pisonis</i>	Peje sapo	3			6	1
<i>Gephyrocharax intermedius</i>	sardina	2				
<i>Gobiomorus dormitor</i>	Guabina	3	1			4
<i>Hyphessobrycon panamensis</i>	sardina	1				
<i>Juturus pichardi</i>	Bocachica	2				
<i>Poecilia gillii</i>	Parivivo	1			3	
<i>Rhamdia quelen</i>	Barbudo	5	1	2		
<i>Roebooides loftini</i>	sardina	5				
<i>Sicydium altum</i>	Titi	15				
<i>Trichomycterus striatus</i>	Barbudillo	3				

Fuente: ERM, septiembre 2017

La diversidad según la función de Shannon fue mayor en la quebrada La Encantada con 2.536 bels, muy similar a la diversidad total de esta zona con 2.667 bels. La equidad fue mayor en el sitio de muestro El Jobo (Guayabalito) con 0.9414. Hay que resaltar que cuando se hacen los análisis de los totales, indican el número máximo de taxones diferentes y la suma total de los individuos para todos los sitios muestreados.

**Tabla 34: Análisis de diversidad realizado a los peces colectados en el tramo bajo del río Indio**

	Qda. La Encantada	Qda. El Jobo (Jobo Arriba)	El Jobo (Guayabalito)	Qda. Chilar	Qda. Membrillar	Total
Taxones	17	7	4	3	2	20
Individuos	78	16	16	10	5	125
Shannon_H	2.536	1.717	1.305	0.8979	0.5004	2.667
Equidad	0.8951	0.8824	0.9414	0.8173	0.7219	0.890

Fuente: ERM, septiembre 2017

## MACRO INVERTEBRADOS

Las colectas en los tres tramos de la cuenca del río Indio (alto, medio y bajo) aportaron seiscientos sesenta y cuatro (664) ejemplares. Estos organismos se distribuyen en cinco (5) especies, que se reparten en dos (2) familias: Atyidae y Palaemonidae.

### Tramo alto de la cuenca

Unos ciento treinta y siete (137) macro invertebrados fueron capturados en la cuenca alta del río Indio, principalmente del camarón marucha o *Atya scabra* con cincuenta y cinco (55), seguido por el camarón pulga (*Potimirim glabra*). La localidad donde más especímenes se colectaron fue la ubicada en el río Indio a la altura de la comunidad de El Jordanal con sesenta y un (61) ejemplares. (Tabla 35).

**Tabla 35: Especies de macro invertebrados reportados en el tramo alto de la cuenca del río Indio**

Especies	Nombre común	Río Indio Arriba	Río Indio (Jordanal)	Río Indio (Barrio Unido)
<i>Macrobrachium acanthurus</i>	Camarón	1	4	6
<i>Macrobrachium carcinus</i>	Camarón rayado	6	16	11
<i>Atya scabra</i>	Marucha	15	19	21
<i>Potimirim glabra</i>	Pulga	6	22	10

Fuente: ERM, septiembre 2017

La diversidad de macro invertebrados fue baja, debido principalmente a las pocas especies reportadas (4) en el tramo alto del río Indio aunque la cantidad de individuos fue relativamente alta con ciento treintaisiete (137) (Tabla 36).

**Tabla 36: Diversidad de Shannon para las diferentes estaciones muestreadas en el tramo alto de la cuenca del río Indio**

	Río Indio Arriba	Río Indio (Jordanal)	Río Indio (Barrio Unido)	Total
Taxones	4	4	4	4
Individuos	28	61	48	137
Shannon_H	1.114	1.261	1.286	1.267
Equidad	0.8033	0.9095	0.9277	0.9143

Fuente: ERM, septiembre 2017

### Tramo medio de la cuenca

Trescientos noventa y dos (392) macro invertebrados (Tabla 37) fueron colectados en el tramo medio del río Indio. *Atya scabra*, es el crustáceo decápodo que más se capturó con ciento treintainueve (139) individuos, mientras que la estación ubicada en río Teriá fue la que más organismos presentó con ciento treinta y uno. En el río Indio a la altura de Tres Hermanas se colectaron noventa y seis (96) individuos mientras que a la altura de San Cristóbal se capturaron setenta y cuatro (74) camarones. Todas las especies de macro invertebrados se colectaron en todas las estaciones evaluadas. Es decir, la distribución de cada una de las especies abarca todos los sitios estudiados.

**Tabla 37: Especies de macro invertebrados reportados en el tramo medio de la cuenca de río Indio**

Especies	Nombre común	Río Teriá	Río Indio (San Cristóbal)	Río Indio (Tres Hermanas)	Río Uvero	Río Uracillo
<i>Macrobrachium acanthurus</i>	Camarón	24	8	9	5	1
<i>Macrobrachium carcinus</i>	Camarón rayado	36	12	22	16	12
<i>Atya scabra</i>	Marucha	48	25	29	21	16
<i>Potimirim glabra</i>	Pulga	23	29	36	15	5

Fuente: ERM, septiembre 2017

Aunque en el tramo medio se colectaron trescientos noventa y dos individuos, los análisis de diversidad muestran valores de bajos a medios, con valores muy similares entre sí. La poca cantidad de especies parece ser la razón principal que contribuye a estos resultados (Tabla 38).

**Tabla 38: Diversidad de Shannon para las diferentes estaciones muestreadas en el tramo medio de la cuenca del río Indio**

	Río Teriá	Río Indio (San Cristóbal)	Río Indio (Tres Hermanas)	Río Uvero	Río Uracillo	Total
Taxones	4	4	4	4	4	4
Individuos	131	74	96	57	34	392
Shannon_H	1.339	1.269	1.289	1.289	1.108	1.324
Equitability_J	0.966	0.9156	0.9298	0.93	0.7992	0.954

Fuente: ERM, septiembre 2017

#### Tramo bajo de la cuenca

Solo ciento treintaicinco (135) crustáceos decápodos fueron capturados en el tramo bajo del río Indio. El camarón *Potimirim glabra* (pulga) estuvo bien representado con cincuenta y dos (52) individuos, mientras que la quebrada La Encantada reportó cincuenta y siete (57) organismos si se suman todos los crustáceos. El número de especies por sitio de muestreo fue mayor en la quebrada La Encantada con la representación de las cuatro especies reportadas (Tabla 39). *Macrobrachium carcinus* o camarón rayado, se distribuyó en todos los sitios de muestro de esta estación.

**Tabla 39: Macro invertebrados reportados en el tramo bajo de la cuenca del río Indio**

Especies	Qda. La Encantada	Qda. El Jobo (Jobo Arriba)	El Jobo (Guayabalito)	Qda. Chilar	Qda. Membrillar	Total
<i>Macrobrachium</i>	5		1	6	9	21
<i>Macrobrachium carcinus</i>	12	1	3	10	12	38
<i>Atya scabra</i>	18	6				24
<i>Potimirim glabra</i>	22			12	18	52

Fuente: ERM, septiembre 2017

Solo ciento treinta y cinco individuos (ver Tabla 40) fueron colectados en el tramo bajo del río Indio. Este reducido número de organismos aunado a las pocas especies colectadas, da como resultado que la diversidad sea baja en este tramo de la cuenca. En el sitio de muestreo ubicado en la quebrada La Encantada se obtuvo la diversidad más alta con 1.273, seguido por la diversidad en la quebrada el Chilar con 1.061. La equidad presentó sus más altos valores en la quebrada el Chilar con 0.9657 y quebrada Membrillar con 0.9629.

**Tabla 40:** *Diversidad de Shannon para las diferentes estaciones muestreadas en el tramo bajo de la cuenca*

	Qda. La Encantada	Qda El Jobo (Jobo Arriba)	El Jobo (Guayabalito)	Qda. Chilar	Qda. Membrillar	Total
Taxones	4	2	2	3	3	4
Individuos	57	7	4	28	39	135
Shannon_H	1.273	0.4101	0.5623	1.061	1.058	1.321
Equidad	0.9182	0.5917	0.8113	0.9657	0.9629	0.9528

Fuente: ERM, septiembre 2017

## MACRÓFITAS

El estudio de la flora acuática de la cuenca de río Indio en la estación lluviosa, arrojó un total de cincuenta especies de las cuales, veintiseis son monocotiledóneas y veinticuatro dicotiledóneas. Entre las especies consideradas como estrictamente acuáticas tenemos a *Limnocharis flava*, *Montrichardia arborescens*, *Marathrum allenii* y *Pontederia rotundifolia*.

Las especies que presentaron mayor dominancia fueron: *Spermacoce densiflora*, *Pavonia schiedeana*, *Sphagneticola trilobata* y *Mimosa pudica*. Estas especies dominan en los sitios de muestreos porque el ecosistema es apto, caracterizado por lugares abiertos y áreas perturbadas por las actividades antropogénicas.



El tramo alto se caracterizó por tener rocas cubiertas de briófitos, bromelias en los árboles y muchas plantas de la familia Araceae. En el tramo medio, las rocas tenían menor cantidad de briófitos y la orilla estaba cubierta de abundantes plantas de las familias Araceae y Fabaceae. Por último, la parte baja de la cuenca presenta un ambiente totalmente diferente, ya que es en este tramo donde se encuentra la desembocadura del río al océano Atlántico. Lo anterior indica la presencia de agua salobre en algunos sitios de estudio. En este tramo de la cuenca se observó vegetación de *Cecropia* sp., que es una especie que crece en lugares abiertos. Los sitios ubicados en el tramo medio presentaron una mayor riqueza de especies, seguido del tramo alto y, por último, el tramo bajo o desembocadura.

#### *Tramo alto de la cuenca*

Los resultados indican una variedad de especies macrófitas con un mayor número de las mismas en el río Indio a la altura de Jordanal (sitio de muestreo No. 2) con veinte (20) especies (Tabla 41). En el sitio de muestreo No. 1, a la altura de río Indio Arriba, el número fue muy similar con dieciocho (18) ejemplares diferentes.

En total se colectaron treinta y cuatro (34) especies diferentes para el tramo alto de río Indio. *Spathiphyllum friedrichsthali* Schott, *Sphagneticola trilobata* (L.) Prisca y *Sida rhombifolia* L., son las especies que tuvieron la mayor distribución, reportándose para los tres sitios de muestreo evaluados en el tramo alto de la cuenca hidrográfica.

**Tabla 41: Especies de macrófitas reportadas para el tramo alto de la cuenca hidrográfica del río Indio**

Familia	Especie	Nombre común	Hábitat	1	2	3
Acanthaceae	<i>Justicia comata</i> (L.) Lam.		h		X	
Araceae	<i>Spathiphyllum friedrichsthali</i> Schott		h	X	X	X
Araceae	<i>Spathiphyllum fulvovirens</i> Schott		h			X
Asteraceae	<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	clavelin de playa	h	X	X	X
Asteraceae	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore		h	X		X
Begoniaceae	<i>Begonia</i> sp.		h		X	
Boraginaceae	<i>Heliotropium índice</i> L.	alacrancillo	h	X		
Campanulaceae	<i>Centropogon coccineus</i> (Hook.) Regel ex B.D. Jacks.		h	X		
Caryophyllaceae	<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. ex Schult.	nervillo	h			X
Commelinaceae	<i>Tripogandra serrulata</i> (Vahl) Handlos	siempre viva	h		X	
Commelinaceae	<i>Comelina erecta</i> L.		h	X		
Cyclanthaceae	<i>Carludovica drudei</i> Mast.		a		X	X
Cyperaceae	<i>Rhynchospora nervosa</i> (Vahl) Boeckeler	florequita blanca	h	X	X	
Cyperaceae	<i>Eleocharis elegans</i> (Kunth) Roem. & Schult.	junquillo	h		X	
Cyperaceae	<i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.		h			X
Cyperaceae	<i>Cyperus odoratus</i> L.		h	X		
Cyperaceae	<i>Cyperus luzulae</i> (L.) Rottb. ex Retz.		h		X	
Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i> L.	dormidera	h	X		X
Fabaceae	<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)		a			X
Haemodoraceae	<i>Xiphidium caeruleum</i> Aubl.	cola de gallo	h	X	X	
Iridaceae	<i>Trimezia steyermarkii</i> R.C. Foster		h	X	X	
Linderniaceae	<i>Torenia crustacea</i> (L.) Cham. & Schltdl.		h		X	
Lythraceae	<i>Cuphea epilobiifolia</i> Koehne		a	X	X	
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	escobilla	h	X	X	X
Malvaceae	<i>Pavonia schiedeana</i> Steud.	mozote	h		X	X
Marantaceae	<i>Calathea latifolia</i> Klotzsch	bijado	h	X		X
Onagraceae	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven	clavelillo	h	X	X	
Poaceae	<i>Homolepis isocalycia</i> (G. Mey.) Chase		h	X		
Poaceae	<i>Steinchisma laxa</i> (Sw.)		h			X
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus urinaria</i> L.	riñoncillo	h	X		
Podostemaceae	<i>Marathrum allenii</i> Woodson	pasa carne	hac	X	X	
Rubiaceae	<i>Hamelia patens</i> Jacq.		a		X	
Rubiaceae	<i>Spermacoce densiflora</i> (DC.) Alain		h		X	
Zingiberaceae	<i>Hedychium coronariu</i> J. Koenig	jazmín	h		X	X

Fuente: ERM, septiembre 2017 - Nota: Río Indio Nacimiento (1), Quebrada Jordanal (2), Río Indio (3).  
Hábitat: arbusto (a), hierba (h), hierba acuática (hac)

**Tramo medio de la cuenca**

Treinta y ocho (38) especies de macrófitas (ver Tabla 42) son descritas para esta estación. La riqueza de especies de macrófitas oscila entre seis (6) para el sitio de muestreo No. 8 (río Uracillo) y veintidós (22) en el sitio de muestreo No. 5 (río Indio a la altura de San Cristóbal). *Mimosa pudica* (dormidera) es la especie más conspicua en el tramo medio de la cuenca con distribución en los cinco (5) sitios evaluados en esta estación (tramo medio).

Tanto *Pavonia schiedeana* (mozote) y la rubiácea *Spermacoce densiflora* (DC.) son otras especies bien representadas en el tramo medio de la cuenca hidrográfica del río Indio, distribuyéndose en cuatro de los cinco sitios de muestreo en los que se realizaron las colectas.

**Tabla 42: Especies de macrófitas colectadas en el tramo medio de la cuenca hidrográfica del río Indio**

Espece	Nombre común	Hábitat	4	5	6	7	8
<i>Hygrophila costata</i> Nees & T. Nees		h	x		x		x
<i>Justicia comata</i> (L.) Lam.		h		x		x	
<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenau	cebolla de chucho	hac			x		
<i>Amaranthus spinous</i> L.		h	x	x			
<i>Asclepias curassavica</i> L.	mata caballo	h	x			x	
<i>Spathiphyllum fulvovirens</i> Schot		h		x			
<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	clavelin de playa	h	x		x	x	x
<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. ex Schult.	nervillo	h				x	
<i>Tripogandra serrulata</i> (Vahl) Handlos	siempre viva	h	x				
<i>Costus scaber</i> Ruiz & Pav.	caña agría	h				x	
<i>Carludovica drudei</i> Mast.		a		x			
<i>Rhynchospora nervosa</i> (Vahl) Boeckeler	florecita blanca	h		x	x	x	
<i>Eleocharis elegans</i> (Kunth) Roem. & Schult.	junquillo	h				x	
<i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.		h	x	x			
<i>Cyperus odoratus</i> L.		h	x	x			
<i>Cyperus luzulae</i> (L.) Rottb. ex Retz.		h		x			
<i>Chamaesyce prostrata</i> (Aiton) Small		h	x	x			

Especie	Nombre común	Hábitat	4	5	6	7	8
<i>Mimosa pudica</i> L.	dormidera	h	x	x	x	x	x
<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)		a				x	
<i>Xiphidium caeruleum</i> Aubl.	cola de gallo	h			x		
<i>Heliconia hirsuta</i> L. f.		h		x			
<i>Torenia crustacea</i> (L.) Cham. & Schltdl.		h		x		x	
<i>Cuphea epilobiifolia</i> Koehne		a		x			
<i>Sida rhombifolia</i> L.	escobilla	h	x	x		x	
<i>Pavonia schiedeana</i> Steud.	mozote	h	x		x	x	x
<i>Calathea latifolia</i> Klotzsch	bijado	h		x			
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven	clavelillo	h		x	x	x	
<i>Ludwigia affinis</i> (DC.) H. Hara		h	x			x	
<i>Oxalis barrelieri</i> L.		h		x		x	
<i>Piper sp.</i>		a		x			
<i>Steinchisma laxa</i> (Sw.)		h	x				x
<i>Phyllanthus urinaria</i> L.	riñoncillo	h		x	x	x	
<i>Marathrum allenii</i> Woodson	pasa carne	hac		x			
<i>Pontederia rotundifolia</i> L. f.	berro malo	hac				x	
<i>Hamelia patens</i> Jacq.		a	x			x	
<i>Spermacoce densiflora</i> (DC.) Alain		h	x	x	x		x
<i>Lantana cámara</i> L.		h	x				
<i>Hedychium coronarium</i> J. Koenig	jazmín	h	x	x		x	

Fuente: ERM, septiembre 2017

Nota: río Teriá (4), San Cristóbal (5), Río Indio (6), Río Indio - Los Uveros (7), río Uracillo (8). Hábitat: arbusto (a), hierba (h), hierba acuática (hac)

### **Tramo bajo de la cuenca**

En el tramo bajo del río Indio se colectaron treinta (30) especies de macrófitas (Tabla 43), siendo esta, la zona con menor riqueza en cuanto a macrófitas. Las especies *Pavonia schiedeana* Steud., y *Spermacoce densiflora* (DC.) Alain, se distribuyen en cuatro de los cinco sitios de muestreo ubicados en este tramo de la cuenca. Por su parte, el sitio de muestreo ubicado en El Jobo (Guayabalito), presenta la mayor riqueza de especies con 12 especies diferentes.

**Tabla 43: Especies de macrófitas reportadas en las estaciones del tramo bajo de la cuenca del río Indio**

Especie	Nombre común	Hábitat	9	10	11	12	13
<i>Hygrophila costata</i> Nees & T. Nees		h			x		x
<i>Justicia comata</i> (L.) Lam.		h				x	
<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenau	cebolla de chucho	hac			x		
<i>Amaranthus spinous</i> L.		h	x				
<i>Asclepias curassavica</i> L.	mata caballo	h	x	x		x	
<i>Spathiphyllum friedrichsthali</i> Schott		h			x		
<i>Montrichardia arborescens</i> (L.) Schott		ha			x		
<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	clavelin de playa	h			x		x
<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. ex Schult.	nervillo	h					x
<i>Costus scaber</i> Ruiz & Pav.	caña agría	h				x	
<i>Dimerocostus strobilaceus</i> Kuntze	caña agría	h		x	x		
<i>Rhynchospora nervosa</i> (Vahl) Boeckeler	florecita blanca	h				x	
<i>Eleocharis elegans</i> (Kunth) Roem. & Schult.	junquillo	h			x		
<i>Cyperus odoratus</i> L.		h	x				
<i>Mimosa pudica</i> L.	dormidera	h	x	x			x
<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)		a	x				
<i>Trimezia steyermarkii</i> R.C. Foster		h				x	
<i>Cuphea epilobiifolia</i> Koehne		a		x			
<i>Sida rhombifolia</i> L.	escobilla	h	x	x			x
<i>Pavonia schiedeana</i> Steud.	mozote	h		x	x	x	x
<i>Triolena hirsuta</i> (Benth.) Triana		a					x
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven	clavelillo	h		x		x	x
<i>Oxalis barrelieri</i> L.		h		x			
<i>Piper sp.</i>		a	x				
<i>Homolepis isocalycia</i> (G. Mey.) Chase		h					x
<i>Phyllanthus urinaria</i> L.	riñoncillo	h		x		x	
<i>Pontederia rotundifolia</i> L. f.	berro malo	hac			x	x	
<i>Hamelia patens</i> Jacq.		a	x	x			
<i>Spermacoce densiflora</i> (DC.) Alain		h		x	x	x	x
<i>Hedychium coronarium</i> J. Koenig	jazmín	h		x	x		

Fuente: ERM, septiembre 2017

Nota: La Encantada (9), El Jobo Arriba (10), quebrada El Jobo -Guayabalito (11), quebrada El Chilar (12), quebrada Membrillar (13). Hábitat: arbusto (a), hierba (h), hierba acuática (hac)

## **ESPECIES DE PECES MÁS DEMANDANTES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO INDIO DEBIDO A SUS CARACTERÍSTICAS Y BIOLOGÍA**

Para determinar qué especies son más demandantes de agua en la cuenca hidrográfica del río Indio y en cada tramo de la cuenca (alto, medio y bajo), se tomó en consideración la biología de las especies, toda vez que el comportamiento de estos peces puede ser alterado por actividades antropogénicas e inclusive ambientales.

De las veinticuatro (24) especies reportadas en el estudio, al parecer cinco (5) presentan características que permiten considerarlas como indicadores para determinar el caudal mínimo que se debe mantener en la cuenca, a fin de proteger la vida acuática. Bajo esta óptica, en la Tabla 44, se detallan características de cada una de las especies propuestas que tienen una demanda alta de agua en diferentes tramos de la cuenca de río Indio. Por último, hay que mencionar que, la información que se tiene sobre el verdadero caudal mínimo que se necesita para el mantenimiento de una especie, es limitada.

Recientemente se están haciendo estudios sobre la integridad biológica de los ecosistemas acuáticos que incluyen aspectos como la diversidad, los niveles tróficos presentes y otros factores físico-químicos que pueden indicar la buena calidad o no de los hábitats encontrados (Abhijna, U. & Biju Kumar, A., 2017; Teixeira & Araujo, 2007; Aguilar I., 2005; Karr & colaboradores, 1986).

**Tabla 44: Características de algunas de las especies de peces que se consideran con alta demanda de agua en diferentes tramos (alto, medio y bajo) de la cuenca hidrográfica del río Indio**

Especie	Nombre común	Biología
<i>Astyanax aeneus</i>	sardina	Astyanax es uno de los géneros dominantes en América Central y Sur, con más de 70 especies. Este pez vive en todo tipo de ríos, arroyos y riachuelos de mucha a poca corriente hasta en pantanos y charcos estancados. Resiste aguas salobres al nivel del mar hasta pequeñas quebradas de 1000 msnm y temperaturas de 20 a 37 °C. Se ha reportado que realiza migraciones masivas desde aguas temporales a ríos más grandes en Costa Rica (Bussing, 1988).
<i>Agonostomus monticola</i>	lisa	Es una especie catódroma, que se caracteriza porque los individuos nadan hacia el mar o los estuarios para reproducirse. <i>A. monticola</i> vive en aguas con corrientes que varían de moderadas a rápidas y pueden resistir los torrentes de cascadas cercanas. Se encuentra hasta los 650 msnm, tolerando temperaturas entre 20 y 31 °C. Algunos factores importantes para su supervivencia son: aguas bien oxigenadas, cuencas no alterada y flujo de agua de moderado a alto (Cruz, 1987). Ascende ríos y pasa vida adulta en agua dulce. Desova durante la estación lluviosa (Bussing, 1988).
<i>Brycon chagrensis</i> , <i>B. petrosus</i>	sábalo pipón	Muy poca información se encuentra en la literatura sobre esta especie, no obstante, se conoce que nada en cardúmenes sobre fondos rocosos o arenosos. Al parecer nada río arriba para desovar (Bussing, 1988).
<i>Joturus pichardi</i>	bobo	Abunda en rápidos o inmediatamente río abajo donde la corriente sigue torrentosa. Son herbívoros y raspan algas de las piedras del fondo con sus labios carnosos, aunque a veces comen langostinos. Es probable que desoven en biotopos estuarinos cerca de la costa. Se cree que los adultos se reproducen en agua dulce en la desembocadura de los ríos y en seguida vuelven río arriba (Bussing, 1988).
<i>Sicydium altum</i>	chupapiedra/titi	Habita riachuelos y ríos entre el mar y 1180 m de altura, encontrándose principalmente en corrientes de mucha velocidad. Bentónico, vive pegado a las rocas del fondo o escondido entre las piedras lo que hace difícil su captura con redes. Ingiere gran cantidad de lodo, diatomeas y algas filamentosas que raspa del sustrato (Bussing, 1988).

Fuente: ERM, septiembre 2017

## ESPECIES POR TRAMO DE LA CUENCA, DETERMINANTES COMO INDICADORES (ESPECIES BANDERA) PARA EL CAUDAL AMBIENTAL

En el tramo alto de la cuenca de río Indio, cinco especies de peces presentan una demanda ecológica de agua más alta que el resto de especies encontradas debido a sus características migratorias principalmente, lo que puede ser afectado por acciones antropogénicas o ambientales. Estas especies tienen una amplia distribución en el tramo alto de la cuenca (ver Tabla 45).

**Tabla 45: Especies de alta demanda identificados durante las evaluaciones realizadas en el tramo alto de la cuenca del río Indio**

Especies	Tramo alto		
	Río Indio Arriba	Río Indio (Jordanal)	Río Indio (Barrio Unido)
<i>Agonostomus monticola</i>	x	x	
<i>Brycon chagrensis</i>	x	x	x
<i>Brycon petrosus</i>	x	x	x
<i>Poecilia gillii</i>	x	x	x
<i>Sicydium altum</i>	x	x	x

Fuente: ERM, septiembre 2017

En el tramo medio se encuentra una mayor distribución de las especies que presentan una mayor demanda de agua para su desarrollo. Hay que tomar en cuenta que estas especies tienden a realizar migraciones en los ríos por lo que necesitan un caudal de agua mínimo durante la etapa de desove (Tabla 46).



**Tabla 46: Especies de alta demanda identificados durante las evaluaciones realizadas en el tramo medio de la cuenca del río Indio**

Especies	Río Teriá	Río Indio (San Cristóbal)	Río Indio (Tres Hermanas)	Río Uvero	Río Uracillo
<i>Agonostomus monticola</i>	x	x	x	x	x
<i>Astyanax aeneus</i>	x	x	x	x	x
<i>Brycon chagrensis</i>	x	x	x		
<i>Brycon petrosus</i>	x	x			x
<i>Joturus pichari</i>	x	x	x	x	
<i>Poecilia gillii</i>	x	x	x	x	x
<i>Sicydium altum</i>	x	x	x	x	x

Fuente: ERM, septiembre 2017

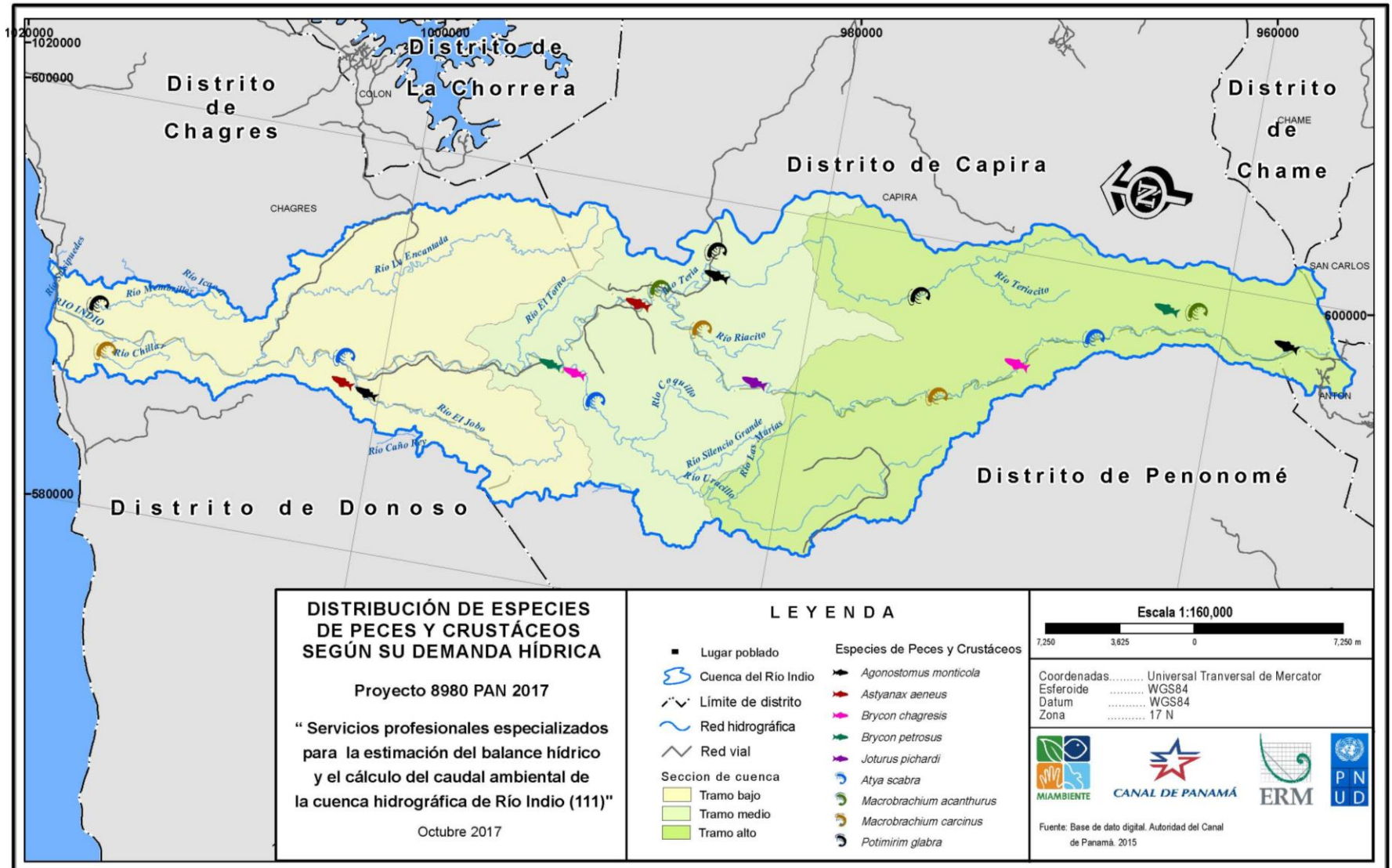
Al igual que en las demás estaciones, en la estación correspondiente al tramo bajo de la cuenca se aprecian las especies que determinan o necesitan una mayor demanda de agua para determinar el caudal ambiental. Hay que mencionar que, en esta zona, la influencia del agua salada puede hacer que se den alteraciones en la diversidad de especies reportadas (ver Tabla 47).

**Tabla 47: Especies de alta demanda identificados durante las evaluaciones realizadas en el tramo bajo de la cuenca del río Indio**

Especies	La Encantada	El Jobo (Jobo Arriba)	El Jobo (Guayabalito)	Qda. Chilar	Qda. Membrillar
<i>Agonostomus monticola</i>		x			
<i>Astyanax aeneus</i>	x	x	x		
<i>Brycon chagrensis</i>	x				
<i>Brycon petrosus</i>	x	x			
<i>Joturus pichardi</i>	x				
<i>Poecilia gillii</i>	x			x	
<i>Sicydium altum</i>	x				

Fuente: ERM, septiembre 2017

En la Figura 6 se muestra una distribución de las especies que se han identificado como especies que presentan mayor demanda de agua debido a comportamientos y requerimientos biológicos.



Fuente: ERM, septiembre 2017

Figura 6: Distribución de especies que presentan mayor demanda de agua en cada tramo de la cuenca

## ESPECIES CON ALGÚN GRADO DE VULNERABILIDAD

De acuerdo a los registros de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), seis (6) especies se encuentran con algún grado de vulnerabilidad, en este caso LC (especies de preocupación menor). Las otras especies de peces no han sido evaluadas por la entidad. Las cuatro (4) especies de macro invertebrados reportados se encuentran en la Lista Roja de UICN, igualmente bajo el estatus de especies con preocupación menor (LC) (ver Tabla 48).

**Tabla 48: Estado de vulnerabilidad de algunas especies reportadas en los tramos alto, medio y bajo de la cuenca del río Indio y que se encuentran incluidas en el libro rojo de UICN**

<b>Peces</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
<i>Agonostomus monticola</i>	<i>Lisa</i>	LC
<i>Atherinella milleri</i>	<i>Sardinilla</i>	LC
<i>Bryconamericus emperador</i>	<i>Sardina</i>	LC
<i>Dormitator latifrons</i>	<i>Guapote</i>	LC
<i>Eleotris pisonis</i>	<i>Peje sapo</i>	LC
<i>Gobiomorus dormitor</i>	<i>Guabina</i>	LC
<b>Macroinvertebrados</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
<i>Macrobrachium acanthurus</i>	<i>Camarón</i>	LC
<i>Macrobrachium carcinus</i>	<i>Camarón rayado</i>	LC
<i>Atya scabra</i>	<i>Marucha</i>	LC
<i>Potimirim glabra</i>	<i>Pulga</i>	LC

Fuente: ERM, septiembre 2017

## 4. COMPONENTE BIOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL

El caudal ambiental se refiere a la cantidad de agua mínima necesaria para que las especies de diferentes organismos se puedan desarrollar en los cuerpos de agua (ríos, quebradas, arroyos), realizando actividades como migración, reproducción,

alimentación, etc. Por muchos años se utilizó en Panamá como medida para determinar el caudal ambiental, un porcentaje (10 %) del caudal promedio que recorre el cauce (ANAM, Resolución AG-0091-2012). No obstante, al utilizarse este número se obvian las necesidades de los distintos grupos de peces u otros organismos que utilizan el medio acuático.

La determinación tradicional del caudal ambiental, también requiere que se realicen mediciones por mucho tiempo para así lograr promedios que representen las variaciones estacionales a lo largo de grandes periodos. Cabe recordar, que esta Resolución (AG N°AG-0091-2012) sobre la determinación del caudal ambiental fue derogada en el 2017.

Para estimar el caudal mínimo requerido para la preservación de especies en los tramos de estudio, primero se determinó cuáles fueron los caudales que presentaban los diferentes tramos durante los trabajos de recolección de muestras de peces y macro invertebrados. El método de campo utilizado para este fin, se basa en medir la velocidad del agua y aplicar la fórmula:

Caudal = Área de la sección x velocidad

$$m^3/s = m^2 \times m/s$$

La estimación de la velocidad del agua se calculó arrojando un objeto flotante, y para determinar la sección, se estimaron valores aproximados de anchura media por profundidad media. Esta metodología fue seleccionada debido a que se adecúa a las características del estudio y a las condiciones del terreno al momento de hacer el trabajo de campo. Se debe aclarar que estas medidas fueron tomadas durante la estación lluviosa y las mismas no representan un promedio del caudal del río Indio (representan un dato puntual durante los muestreos en cada uno de los sitios).

A partir de esta información recolectada, se determinó un caudal mínimo requerido para las especies identificadas durante los trabajos de campo dentro de la cuenca de río Indio, las cuales demandan una alta cantidad de agua para desarrollar sus distintas actividades.

La determinación del caudal mínimo se estableció de la siguiente forma: se utilizó una velocidad mínima de 0.8 metros por segundo (m/s) y una profundidad de 0.35 metros (estos datos fueron obtenidos de estudios realizados en Costa Rica para *Agonostomus monticola* por Chávez y colaboradores en el 2006), los cuales representan las condiciones mínimas de velocidad de corriente y profundidad que necesita esta especie en particular, es decir, valores umbrales para la especie. Con los datos obtenidos en campo de las diferentes secciones del río, es decir, ancho del río, se estimó el caudal mínimo que necesita la especie.

A diferencia del cálculo anteriormente utilizado en Panamá y derogado en el 2017, el cual establecía que el caudal ambiental se calculaba como el 10 % del caudal promedio anual del cuerpo de agua, en esta ocasión, se toma en consideración primaria las necesidades de las especies de peces presentes. *Agonostomus monticola* (catódromo), la cual es un mugilido que realiza migraciones en los cuerpos de agua por temporadas y que se ha descubierto que durante la estación seca también se desplaza de un lugar a otro en las cuencas de los ríos en donde habita.

En particular, *A. monticola* es de mayor tamaño que otras especies también consideradas para ser utilizadas en la evaluación del caudal ambiental en base a las necesidades de los organismos como *Astyanax aeneus* o *Poecilia gillii*, ambas especies reportadas también en el presente trabajo. Esta característica permite establecer que, si el caudal ambiental se mide de acuerdo a la necesidad de una especie de mayor tamaño, otras de longitudes menores pueden desarrollarse adecuadamente.

Las fluctuaciones en los cuerpos de agua producto de la estacionalidad son muy frecuentes y varían dependiendo del régimen de lluvia de un año a otro. No obstante,

las especies se adecuan a estos cambios siempre y cuando las necesidades, en cuanto a la demanda de agua que tienen, se puedan mantener. A diferencia de los procesos naturales, cuando las alteraciones son el producto de alteraciones antropogénicas, se busca que las necesidades mínimas se conserven, no quiere decir esto, en ningún momento, que, en un periodo estacional, ríos, quebradas, o arroyos, no se encuentre en periodos críticos por falta de lluvias.

Desde esta perspectiva, hay que considerar también, que ni el caudal ambiental determinado por un método previamente utilizado (Resolución AG-0091-2012) o inclusive el caudal ambiental establecido por las necesidades de las especies que habitan el cuerpo de agua, garantizan que las mejores condiciones o al menos las mínimas se mantengan. De acuerdo al análisis de los técnicos que realizan esta investigación, los caudales mínimos permiten tratar de mantener un manejo más adecuado de las fuentes de agua que podrían sufrir alteraciones a futuro.

Debido a la limitada y casi nula información que se tiene sobre las necesidades de algunas especies de peces en Panamá, se preparó la Tabla 49 utilizando los valores establecidos en Costa Rica por Chávez y colaboradores (2006), en donde se asigna una velocidad mínima de 0.8 m/s (el rango más bajo para condiciones óptimas) y una profundidad de 0.35 m. Los datos de ancho del cauce se obtienen de los valores encontrados durante las visitas a campo. Dado que el caudal mínimo proporciona un volumen de agua necesario, los valores de velocidad y profundidad podrían variar según la estacionalidad.

Hay que recordar que la visión de caudal mínimo contempla necesidades en un sistema ecológico muy cambiante como lo es el acuático y donde las especies tienden a desplazarse buscando condiciones más favorables para su desarrollo. Podríamos agregar que los propios cambios en los caudales producto de la temporada lluviosa o seca forman parte de la dinámica que acompaña al hábitat y al ecosistema por lo que

las especies que se encuentran en los medios acuosos, están adaptadas en su mayoría a estos cambios estacionales.

Bajo esta óptica, a diferencia de establecer un caudal mínimo en base a modelos donde la cantidad de agua (10 % del caudal promedio) representa el factor predominante (metodología utilizada en Panamá para determinar el caudal ambiental anteriormente, en cumplimiento de la Resolución AG-0091-2012 y actualmente derogada), el caudal mínimo utilizado en el presente estudio, pondera las necesidades de la especie y la demanda de agua necesaria para que realice sus actividades. Esto nos permite también establecer situaciones interesantes como, por ejemplo, en algunos lugares donde el caudal ambiental fue inclusive mayor que el caudal obtenido en campo, no se reportó *A. monticola*. Lo anterior sugiere que esa sección del río en ese momento no guardaba condiciones adecuadas para que *A. monticola* pudiera utilizar el hábitat.

**Tabla 49: Caudal obtenido en campo y caudal mínimo (13 sitios de muestreo) requerido basado en las necesidades de la especie *Agonostomus monticola***

	Caudal obtenido en campo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mínimo calculado (m <sup>3</sup> /s)
<b>Tramo Alto</b>		
Río Indio Arriba	2.7	1.4
Jordanal	3.8	1.5
Barrio Unido	36.8	3.8
<b>PROMEDIO</b>	14.4	2.23
<b>Tramo medio</b>		
Río Teriá	3.2	1.0
San Cristóbal	18.1	2.0
Tres Hermanas	10.2	3.4
Uvero	13.3	5.4
Uracillo	2.9	1.1
<b>PROMEDIO</b>	9.5	2.5
<b>Tramo bajo</b>		
Jobo Arriba	2.8	0.8
Jobo (Guayabalito)	12.4	5.0

	Caudal obtenido en campo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mínimo calculado (m <sup>3</sup> /s)
Membrillar	2.6	0.8
Chillar	1.9	0.8
<b>PROMEDIO</b>	4.9	1.9

Fuente: ERM, octubre 2017

Por último, hay que considerar que los caudales obtenidos en campo para los diferentes sitios se estimaron en temporada lluviosa por lo que los caudales mínimos, no se asemejan a la metodología previamente utilizada o establecida en la Resolución AG-0091-2012 (derogada en 2017), sino que reflejan condiciones que debe tener como mínimo la especie escogida (*A. monticola*) para poder desarrollarse adecuadamente.



## 5. CÁLCULO DEL CAUDAL MÍNIMO REQUERIDO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL RÍO INDIO

La reducción de caudal puede limitar la navegación comercial durante algunos periodos, acarreando así una reducción de la actividad económica ligada a la navegación. Existen tres grandes categorías que agrupan los métodos actuales para determinar el caudal mínimo requerido para navegación (1) modelos numéricos y científicos; 2) Encuestas a los Usuarios; 2) Juicios de Expertos) y la elección del mismo depende de varios factores tales como: el tipo de río, los componentes del medio humano considerados, los tipos de usuarios y su disponibilidad, así como los recursos y el tiempo disponible a aplicarlo. Considerando lo anterior, para estimar el caudal mínimo necesario para la navegación en el río Indio, se aplicó la fórmula de Flujo mínimo para canotaje o “canoeing zero flow”, la cual se define como el caudal que permite a un canoista experimentado, descender un río sin ser interrumpido en su curso. Esta fórmula considera si la embarcación toca fondo en dos o tres partes en los sectores poco profundos (MOPDGA, 2010).

La fórmula de flujo mínimo para canotaje está basada en observaciones de Corbett (1990) y datos hidrológicos para predecir el flujo mínimo (canoeing zero flor) para un conjunto de 45 ríos en 4 estados de los Estados Unidos de Norteamérica. Este método se basa en una relación empírica entre el caudal medio anual y las necesidades mínimas requeridas para la navegación.

El flujo mínimo para canotaje se estima matemáticamente mediante la fórmula siguiente:

$$Q_m = 11.22 * T^{0.702} * Q_a^{0.442}$$

Donde,

$Q_m$  = caudal mínimo ( $\text{pie}^3/\text{s}$ )

$Q_a$  = caudal medio anual ( $\text{pie}^3/\text{s}$ )

$T = 1$  para aguas quietas

$T = 2$  para aguas blancas

Considerando el criterio anterior y entrevistas con personas que utilizan el río Indio como medio de transporte (quienes indicaron que dicha actividad se extiende desde la desembocadura del río hasta el punto conocido como Boca de Uracillo), el caudal o flujo mínimo requerido para canotaje se estima entre el 27 % y 45 % del caudal medio anual dependiendo del tipo de aguas. Los resultados estimados para determinar el flujo mínimo para la cuenca del río Indio se presentan en la sección 7 de este estudio una vez que se generaron los caudales promedio del modelo hidrológico bajo condiciones existentes.

## 6. RESUMEN DEL MODELO HIDROLÓGICO

En esta sección se presenta un resumen de los pasos seguidos para la construcción y calibración del modelo hidrológico SWAT. Los componentes hidrológicos simulados en el modelo SWAT incluyen: evapotranspiración, escorrentía superficial, percolación, escorrentía lateral y caudal base. La evapotranspiración es estimada separando la evaporación del agua en el suelo y la transpiración de las plantas. La evaporación del agua del suelo es estimada mediante funciones exponenciales de la profundidad del agua y contenido de humedad en el suelo; mientras que la transpiración es estimada corrigiendo la evapotranspiración potencial para condiciones de déficit de humedad (SWAT theory). El método de Penman Monteith y Hargreaves son usados para estimar la evapotranspiración potencial. En este estudio se utilizó la ecuación de Penman-Monteith debido a que en lugares lluviosos y húmedos, como Panamá, y el caso específico de la cuenca de río Indio, el método Hargreaves generalmente sobre estima la evapotranspiración. La escorrentía fue simulada mediante el método del número de curva (USDA SCS, 1972).

La implementación del modelo SWAT en la cuenca del río Indio, demandó la preparación de una cantidad considerable de datos espaciales (Modelo digital de elevación, información de suelos, uso y coberturas) y datos de series de tiempo climáticas (precipitación, temperatura) y de caudales.

La simulación hidrológica mediante SWAT se basa en más de 39 parámetros que tienen que ser calibrados y ajustados. Para manejar un número tan grande de variables, es necesario efectuar un análisis de reducción de parámetros mediante un análisis de sensibilidad que busca identificar los parámetros hidrológicos que tienen mayor impacto o significancia en el modelo. Este análisis de sensibilidad se realizó mediante el análisis global de sensibilidad integrado en el programa SWAT-CUP.

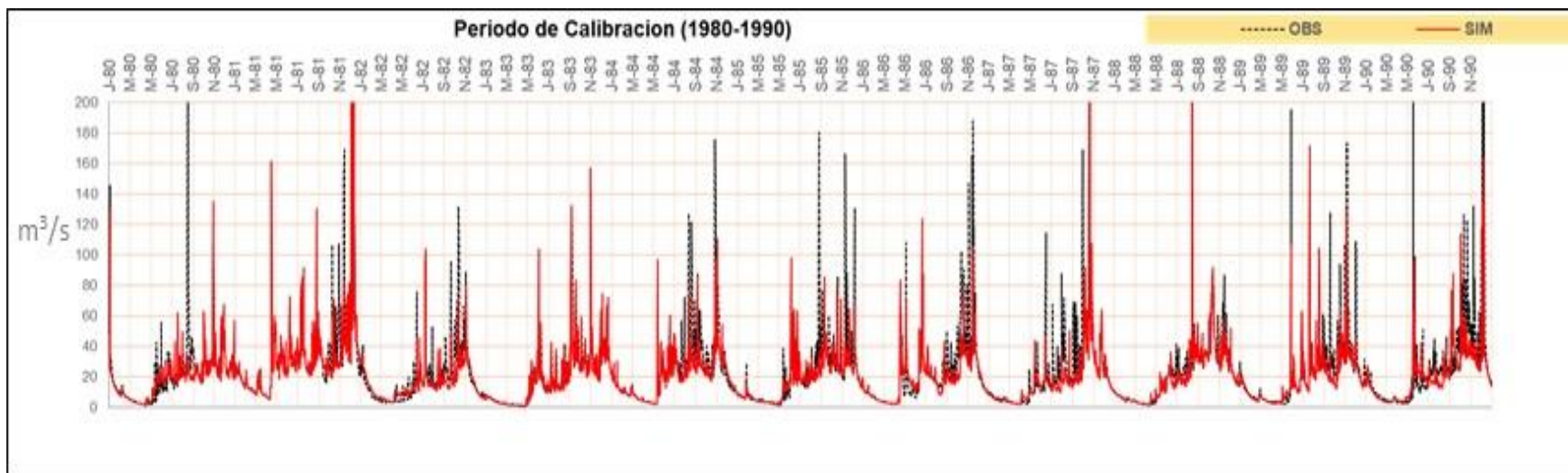
Los factores más sensibles que sufrieron modificaciones son los parámetros de aguas subterráneas GWQMIN, ALPHA, GW DELAY, GWREVAP, RCHRG. Los parámetros de cuenca ESCO y SLOPE junto con los parámetros de suelos SOL AWC y SOLK y el parámetro de número de curva CN2. El modelo fue simulado inicialmente 200 veces en el SWAT-CUP seguido de tres iteraciones más para obtener los valores de los factores de corrección de los parámetros más sensibles.

El modelo en ArcSWAT fue simulado varias veces modificando los parámetros hasta conseguir el mejor ajuste entre los valores de caudal arrojados por el modelo y los datos de flujo observado en la estación Boca de Uracillo.

La calibración fue realizada comparando los datos de descarga asociados a la subcuenca de estudio cuyo punto de salida es la estación hidrológica Boca de Uracillo. Después de lograr un dato de caudal razonable, los mismos parámetros modificados en la etapa de calibración fueron utilizados en la validación. Los datos disponibles de caudales de la estación Boca de Uracillo fueron usados para compararse con los datos generados del modelo hidrológico. El periodo de calibración corresponde al periodo de datos disponibles en la estación Boca de Uracillo de 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 1990 y un periodo de validación que va entre el 1 de enero de 1991 y el 31 de diciembre de 1994. En la Figura 16 se muestra el ajuste entre los valores de caudal diario simulados y los valores observados para el período de calibración; mientras que en la Tabla 50 se incluyen los parámetros y coeficientes estadísticos utilizados para evaluar la eficiencia de la calibración.

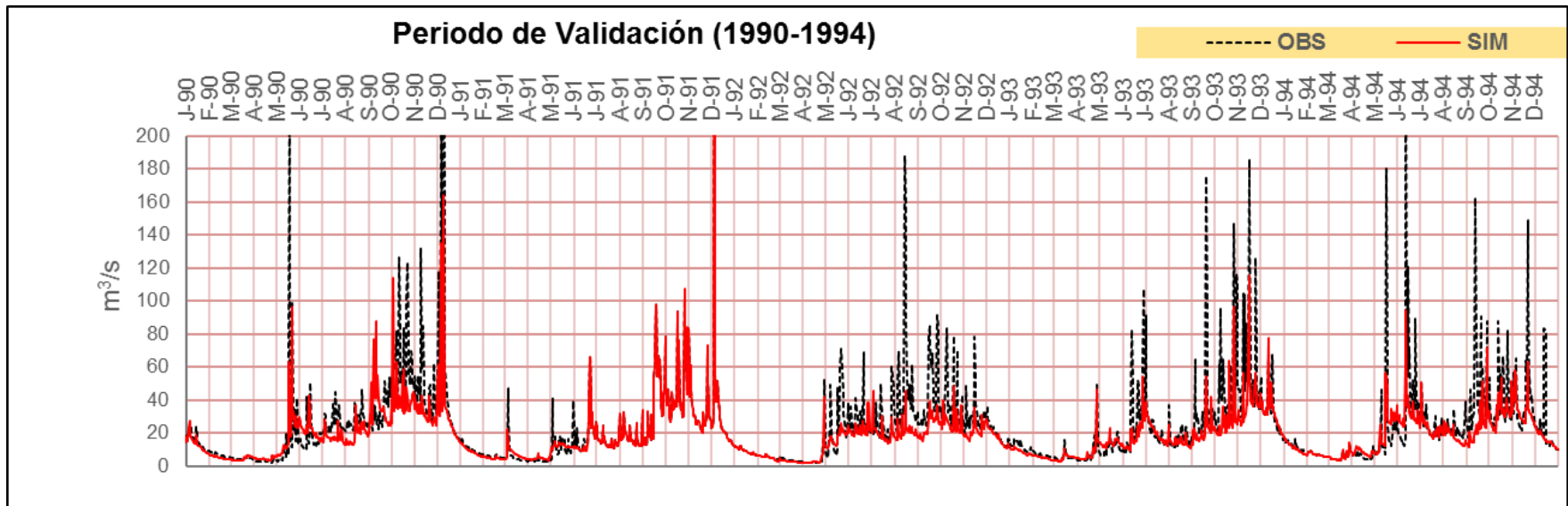
La eficiencia del modelo fue evaluada utilizando el coeficiente de determinación  $R^2$  y los operadores estadísticos Nash-Sutcliffe (NSE), Percent Bias (PBIAS) y el coeficiente RMSE. En las figuras 7, 8 y 9 se presentan comparaciones entre datos de caudales generados del modelo hidrológico SWAT y datos observados medidos en campo.

La validación adicional del modelo hidrológico consistió en correr la información climática del periodo 2000-2015 con los parámetros de calibración del periodo 1980-1990. Los resultados de la simulación hidrológica para el periodo 2000-2015 fueron validados con los caudales observados disponibles en la estación hidrológica Boca de Uracillo para la cuenca del río Indio, reportados en el anuario hidrológico de la ACP correspondiente al periodo de 2004 al 2006.



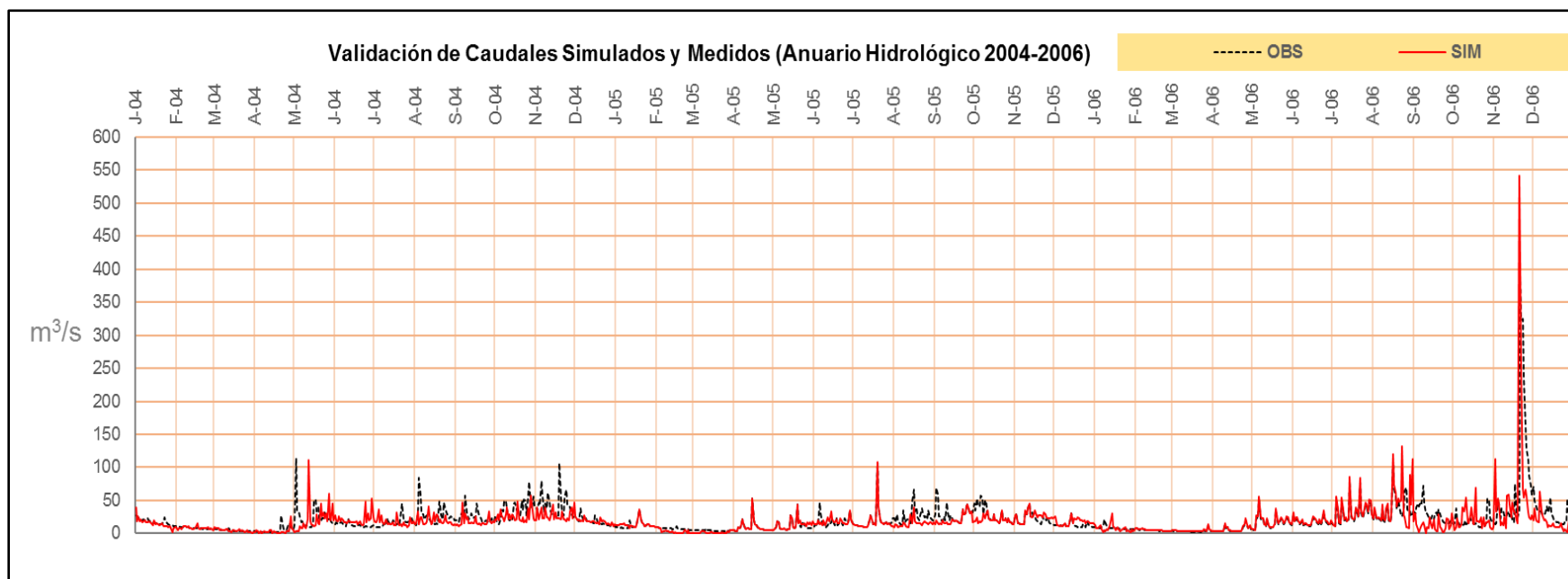
Fuente: ERM, septiembre 2017

**Figura 7:** Calibración de datos de caudal observado y simulado (1980-1990)



Fuente: ERM, septiembre 2017

**Figura 8:** *Validación de datos de caudal observado y simulado*



Fuente: ERM, octubre 2017

**Figura 9:** *Caudales diarios simulados vs observados reportados en el anuario hidrológico de la ACP (Periodo 2004-2006)*

**Tabla 50:** *Resumen de coeficientes utilizados en la calibración y validación del modelo hidrológico de la cuenca de río Indio*

Figura	NSE	NSErel	R2	wR2	RSR	PBIAS
5-1	0.64	0.84	0.65	0.42	0.60	0.12
5-2	0.55	0.85	0.59	0.61	0.67	-0.21
5-3	0.40	0.74	0.51	0.34	0.79	-0.3

Fuente: ERM, octubre 2017



Existen diversos métodos para evaluar la precisión de los resultados producidos por los modelos. La calibración y la validación fueron llevadas a cabo usando el coeficiente de determinación  $R^2$  y los operadores estadísticos Nash-Sutcliffe (NSE), Percent Bias (PBIAS) y el coeficiente RMSE. A continuación, se describen estos dos métodos.

### ***Coefficiente de determinación ( $R^2$ )***

El método del  $R^2$  analiza la consistencia entre los datos observados y simulados que en este caso son los valores de caudales. El  $R^2$  oscila entre 0 y 1.0 con los valores más altos indicando el menor error de variancia. Se considera que valores mayores que 0.60 representan un ajuste aceptable entre los valores observados y simulados (Van Liew et al., 2009). Se pudiera seguir incrementando el  $R^2$ , sin embargo, la información principal que requiere el modelo es la precipitación y hay eventos que por no tener una adecuada densidad de estaciones no están representando la lluvia de manera adecuada. Todo esto se ve a lo largo del registro de caudales observados en la estación de Boca de Uracillo, al ver el comportamiento entre la lluvia y el caudal. Hay respuestas en cuanto a la estación hidrológica que no coinciden con los eventos de lluvia que se pudieran registrar en las estaciones pluviométricas. Esta comparación es fundamental en los modelos donde la variabilidad de la lluvia es uno de los más importantes.

### ***Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)***

NSE es un método estadístico normalizado que mide cuanto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación. Una eficiencia de 1 (NSE=1) corresponde a un ajuste perfecto entre el caudal generado del modelo hidrológico y los datos observados. Una eficiencia de 0 (NSE=0) indica que las predicciones del modelo son tan precisas como el promedio de los datos observados. Por el contrario, un valor menor a 0 del coeficiente Nash indica que el promedio de los datos

observados es mejor predictor que los valores generados del modelo. Mientras más cercano a 1 el coeficiente NSE, mayor la eficiencia del modelo.

El valor de NSE varía entre  $-\infty$  y 1.0, con NSE = 1 Siendo el valor óptimo. Valores entre 0.0 y 1.0 son generalmente vistos como niveles aceptables de ajuste. La simulación del modelo es considerada satisfactoria con valores de NSE > 0.5 (Moriasi, J. et al., 2007). El valor obtenido del NSE fue de 0.64.

$$NSE = 1 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2 \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2 \right]}$$

En donde,

NSE = Coeficiente de eficiencia de Nashc-Suctlife

YOBS = Caudal observado en el tiempo i (m<sup>3</sup>/s)

YSIM = Caudal simulado en el tiempo i (m<sup>3</sup>/s)

YMEAN = Promedio de los caudales observados (m<sup>3</sup>/s)

### ***Percent Bias (PBIAS)***

PBIAS mide la tendencia promedio de los valores simulados que son mayores o menores que sus valores observados. Este valor oscila entre -10 y 10. El valor óptimo de PBIA es 0.0, indicando precisión en la simulación del modelo. Valores negativos indican sobreestimación, mientras que los valores positivos indican subestimación.

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right]$$

En donde,

PBIAS = Tendencia de valores simulados

$Y^{OBS}$  = Caudal observado en el tiempo  $i$  ( $m^3/s$ )

$Y^{SIM}$  = Caudal Simulado en el tiempo  $i$  ( $m^3/s$ )

***RMSE Ratio de desviación estándar de las observaciones (RSR)***

De acuerdo a lo propuesto por Singh et al., 2004, una estadística para evaluar la eficiencia de este tipo de modelos es el radio de desviación RSR este es calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}}$$

En el rango de 0.0 a 0.6 se encuentran los valores óptimos que indican un buen desempeño del modelo para los periodos de validación y calibración.

Como cualquier otro modelo hidrológico, una de las principales limitaciones del modelo utilizado en este estudio se relaciona directamente con la disponibilidad de información. La cuenca de río Indio presenta limitaciones relativas a la disponibilidad y calidad de información de estaciones meteorológicas para preparar la base de datos de entrada climáticas requeridas por el modelo y determinar los cambios en la entrada, salida y almacenamiento de agua de la cuenca. Dicho lo anterior es importante recordar que la información principal que requiere el modelo es la precipitación y hay eventos que por no tener una adecuada densidad de estaciones y series incompletas (periodos de tiempo donde las estaciones no estuvieron operativas), no están representando la lluvia de manera adecuada, esto se ve a lo largo del registro de caudales observados en la estación de Boca de Uracillo al ver el comportamiento entre la lluvia y el caudal. Hay respuestas en cuanto a la estación hidrológica que no coinciden con los eventos de lluvia que se pudieran registrar en las

estaciones de lluvia. Esto es fundamental en los modelos donde la variabilidad de la lluvia es uno de los más importantes.

## 7. RESULTADOS: ESCENARIO NO. 1

Una vez calibrado y extendido el modelo hidrológico SWAT para el periodo 2000-2015, los resultados generados de caudal fueron utilizados para determinar los siguientes componentes que representan el escenario No. 1 bajo condiciones existentes (o base). Los resultados del modelo fueron también utilizados para evaluar otro escenario solicitado dentro del alcance del estudio para la elaboración del reporte (Escenario 2).

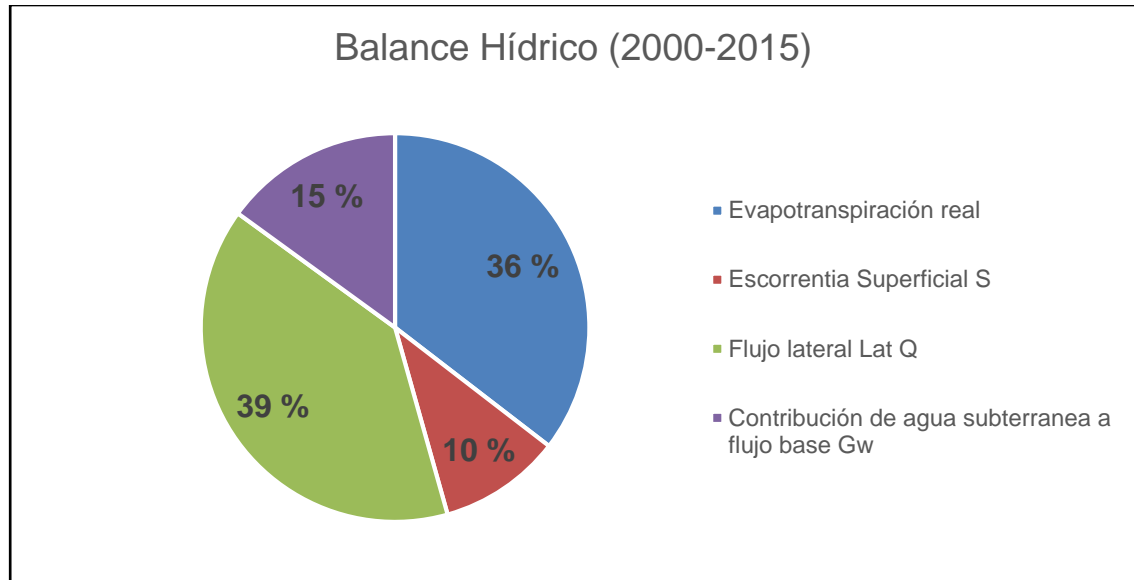
### 7.1 BALANCE HÍDRICO 2000 - 2015

Los resultados del modelo hidrológico extendido para el periodo 2000-2015 fueron utilizados para estimar el balance hídrico de la cuenca de río Indio. En la Tabla 51 se reportan los promedios anuales de la cuenca para diferentes componentes del balance hídrico, los cuales fueron también calculados como porcentaje relativo del promedio anual de la precipitación (Figura 10).

**Tabla 51: Promedio anual de la cuenca para distintas variables del balance hídrico (periodo 2000-2015)**

Componentes del Balance Hídrico	Valor (mm)
Precipitación	3,057.00
Evapotranspiración potencial ETP	1,233.28
Evapotranspiración ET	1,083.40
Escorrentía Superficial SURQ	313.00
Flujo Lateral Lat Q	1,203.40
Contribución de agua subterránea a la corriente Gw	458.60
Producción de Agua (WYLD)	1,975.00

Fuente: ERM, octubre 2017



Fuente: ERM, octubre 2017

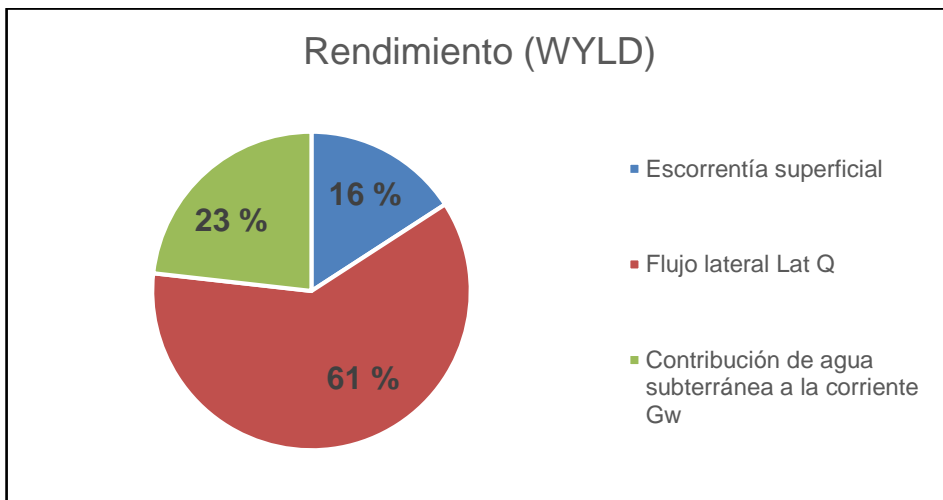
***Figura 10: Distribución porcentual de variables del balance hídrico con respecto a la lluvia***

Las altas tasas de evapotranspiración pueden ser atribuidas al tipo de vegetación presente en la cuenca y las altas temperaturas asociadas de la cuenca. El promedio anual de la evapotranspiración representa el 36 % de la precipitación (ver Figura 10). El flujo lateral (Lat-Q), se ve influenciado fuertemente por la pendiente del terreno, este componente del balance hídrico representa el 39 % de la precipitación. Las condiciones topográficas de la cuenca del río Indio hacen que el principal contribuidor al caudal del río sea el flujo lateral. Por otro lado, la existencia de suelos con condiciones de permeabilidad adecuados para el flujo y la existencia de un basamento impermeable (rocas volcánicas) cerca de superficie hacen que este componente de flujo lateral sea importante. La contribución de agua subterránea (GW-Q) es el agua proveniente de los acuíferos superficiales que retorna al caudal y contribuye como flujo base, el cual representa un 15 % de la precipitación.

### 7.1.1 PRODUCCIÓN DE AGUA (WYLD)

El rendimiento total de la cuenca (WYLD) es la cantidad de flujo de salida en la salida de la cuenca, este puede ser visto como la porción de la lluvia que es recibida por la cuenca y perdida por el flujo de la corriente. El modelo simula la producción de agua a nivel de subcuencas.

La producción de agua calculada anualmente corresponde a la salida de toda la cuenca del río Indio (Subcuenca 1). El valor WYLD promedio se encuentra en 1,975 mm y representa el 64 % de la precipitación. La producción de agua o Water Yield corresponde a la suma de los aportes de flujo base GW-Q, flujo lateral Lat Q y escorrentía superficial Qsurf menos las pérdidas en la base del canal (Tloss) y debidas a abstracciones de estanques (Pond abstractions); cabe mencionar que las pérdidas de estas últimas variables son despreciables en la cuenca. La Figura 11 muestra las proporciones relativas de cada una de estas variables dentro del rendimiento total WYLD. El flujo Lateral representa el mayor porcentaje con un 61 % seguida de la contribución del acuífero superficial Gw con un 23 % y la escorrentía superficial representando el 16 % del rendimiento total.



Fuente: ERM, octubre 2017

**Figura 11: Distribución porcentual de variables que componen el rendimiento Hídrico (periodo 2000-2015)**

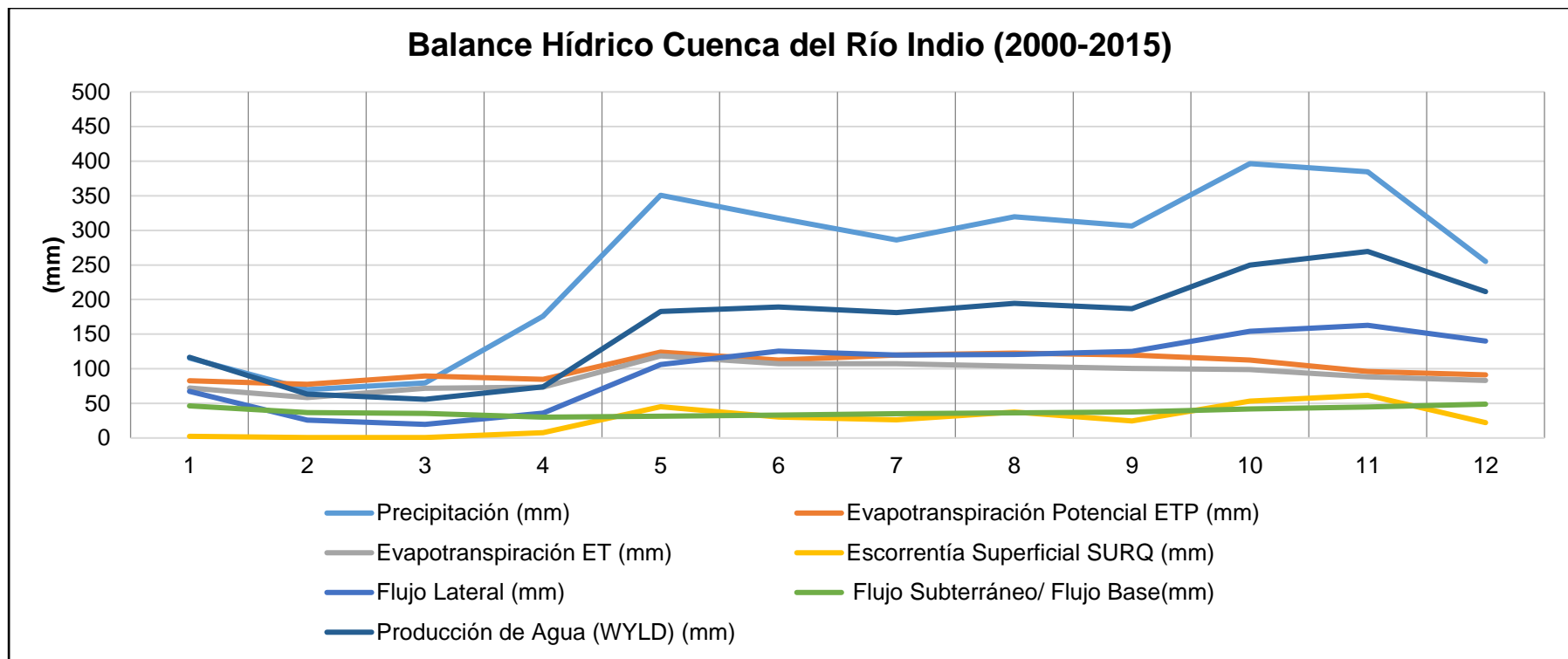
La Tabla 52 muestra los resultados promedio mensuales de la cuenca para cada una de las variables del balance hídrico correspondiente al periodo 2000-2015; mientras que en la Figura 12 se presenta una gráfica con los valores promedio por mes.

Tabla 52: Balance hídrico mensual promedio de la cuenca hidrográfica de río Indio (periodo 2000-2015)

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Precipitación (mm)	115.3	69.9	79.7	175.9	350.5	317.5	286.2	319.7	306.1	396.4	384.7	255.1	3057.0
Evapotranspiración Potencial ETP (mm)	82.6	77.6	89.8	84.7	124.1	112.5	119.9	122.6	119.9	112.4	95.9	91.3	1233.3
Evapotranspiración ET (mm)	72.4	58.4	71.9	73.3	118.6	107.3	107.3	103.6	100.3	99.0	88.2	83.1	1083.4
Escorrentía Superficial SURQ (mm)	2.6	0.7	0.7	7.5	45.3	30.4	26.4	37.4	24.5	53.4	61.7	22.4	313.0
Flujo Lateral Lat Q (mm)	67.5	25.9	19.7	36.1	106.0	125.6	119.7	120.7	125.0	154.3	162.8	140.1	1203.4
Flujo Subterráneo/ Flujo Base(mm)	46.6	36.9	35.5	30.1	31.6	33.1	35.0	36.5	37.4	42.0	45.0	48.9	458.6
Producción de Agua (WYLD) (mm)	116.7	63.5	55.9	73.7	182.9	189.1	181.1	194.6	186.9	249.7	269.5	211.4	1975.0
	<b>Promedio</b>												
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	13.8	4.6	1.9	5.1	22.7	26.1	22.8	25.4	24.8	38.3	46.7	32.9	22.2

Fuente: ERM, octubre 2017



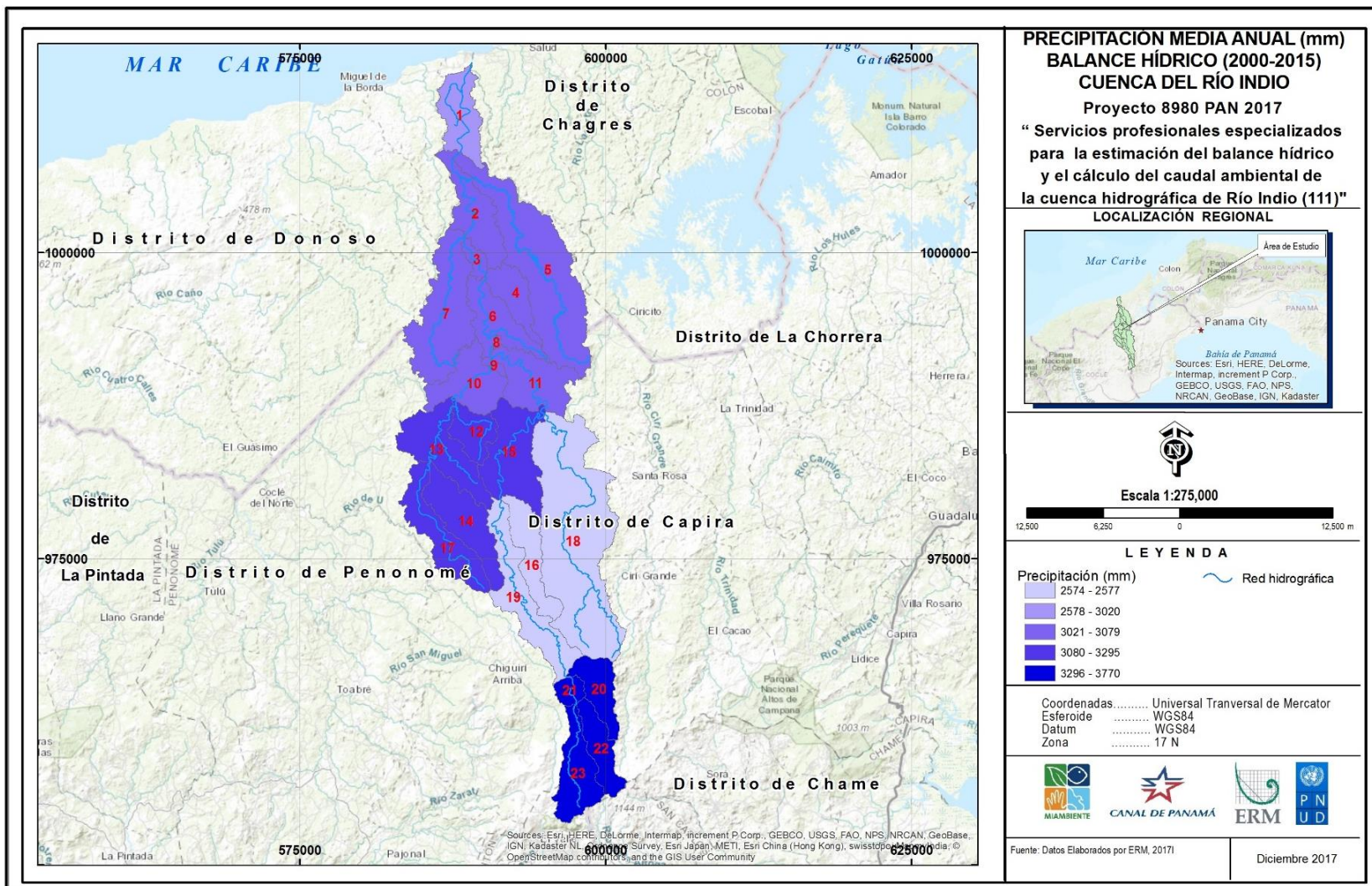


Fuente: ERM, octubre 2017

**Figura 12:** Balance hídrico promedio mensual de la cuenca del río Indio correspondiente al periodo 2000-2015

### 7.1.2 PRECIPITACIÓN

Las distribuciones espaciales de las distintas variables del balance hídrico (periodo 2000-2015) se muestran de la Figura 13 a la Figura 17, en donde se presenta el valor de cada parámetro por subcuenca simulado. Las salidas por subcuenca de la simulación hidrológica corresponden al promedio ponderado de los resultados obtenidos para cada unidad de respuesta hidrológica (HRU) dentro de cada subcuenca. La precipitación simulada refleja adecuadamente la distribución de la precipitación de entrada y cada subcuenca, toma como referencia para la simulación la serie de tiempo de precipitación más cercana. La Figura 13 muestra la precipitación promedio anual por subcuenca.

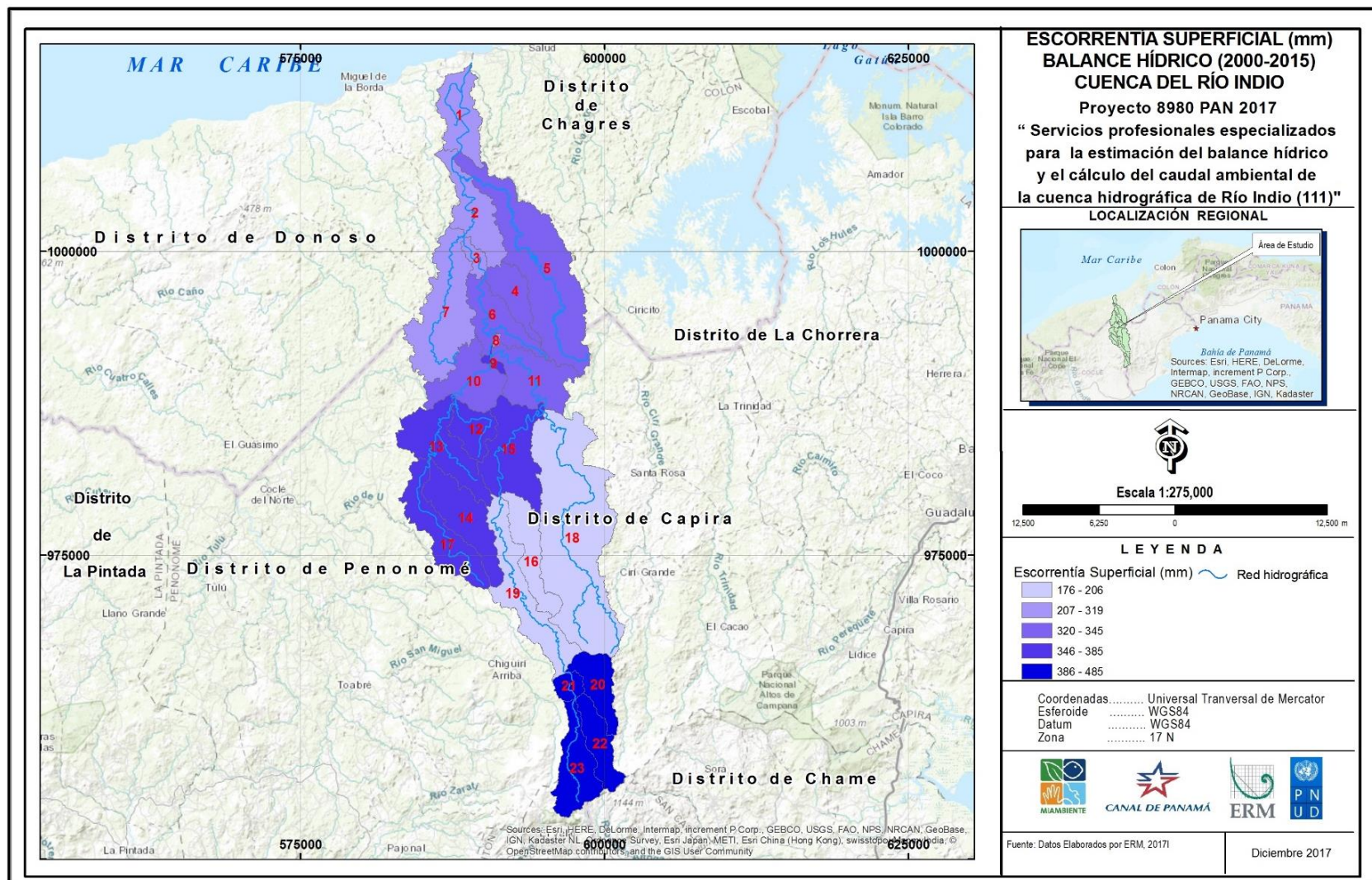


Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 13: Distribución de la precipitación (2000-2015) cuenca del río Indio**

### **7.1.3 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL**

La escorrentía superficial por subcuenca se muestra en la Figura 14, la cual refleja la variación espacial de este componente del balance hídrico en toda la cuenca del río Indio. Las subcuencas 20, 21, 22 y 23 presentan los valores más altos de escorrentía superficial.

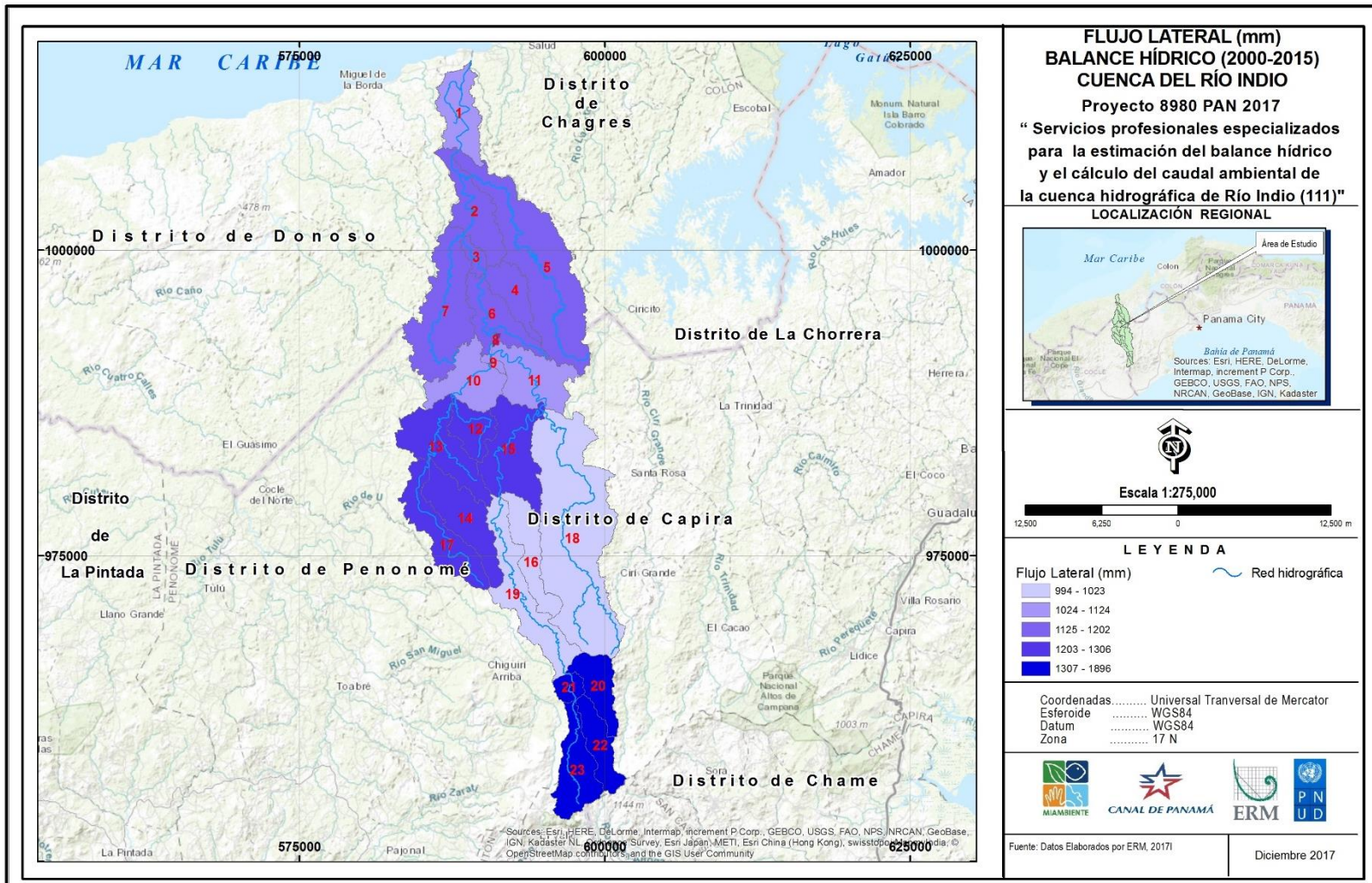


Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 14:** Distribución espacial de la escorrentía superficial en la cuenca del río Indio (periodo 2000-2015)

#### **7.1.4 FLUJO LATERAL**

El flujo lateral (ver Figura 15) es importante donde existen suelos semipermeables, los cuales presentan una conductividad hidráulica decreciente en la vertical y se mueven en función de los gradientes hídricos principalmente verticales. Este componente es importante en la cuenca del río Indio en sectores con alta pendiente en las subcuencas 20, 21, 22 y 23.



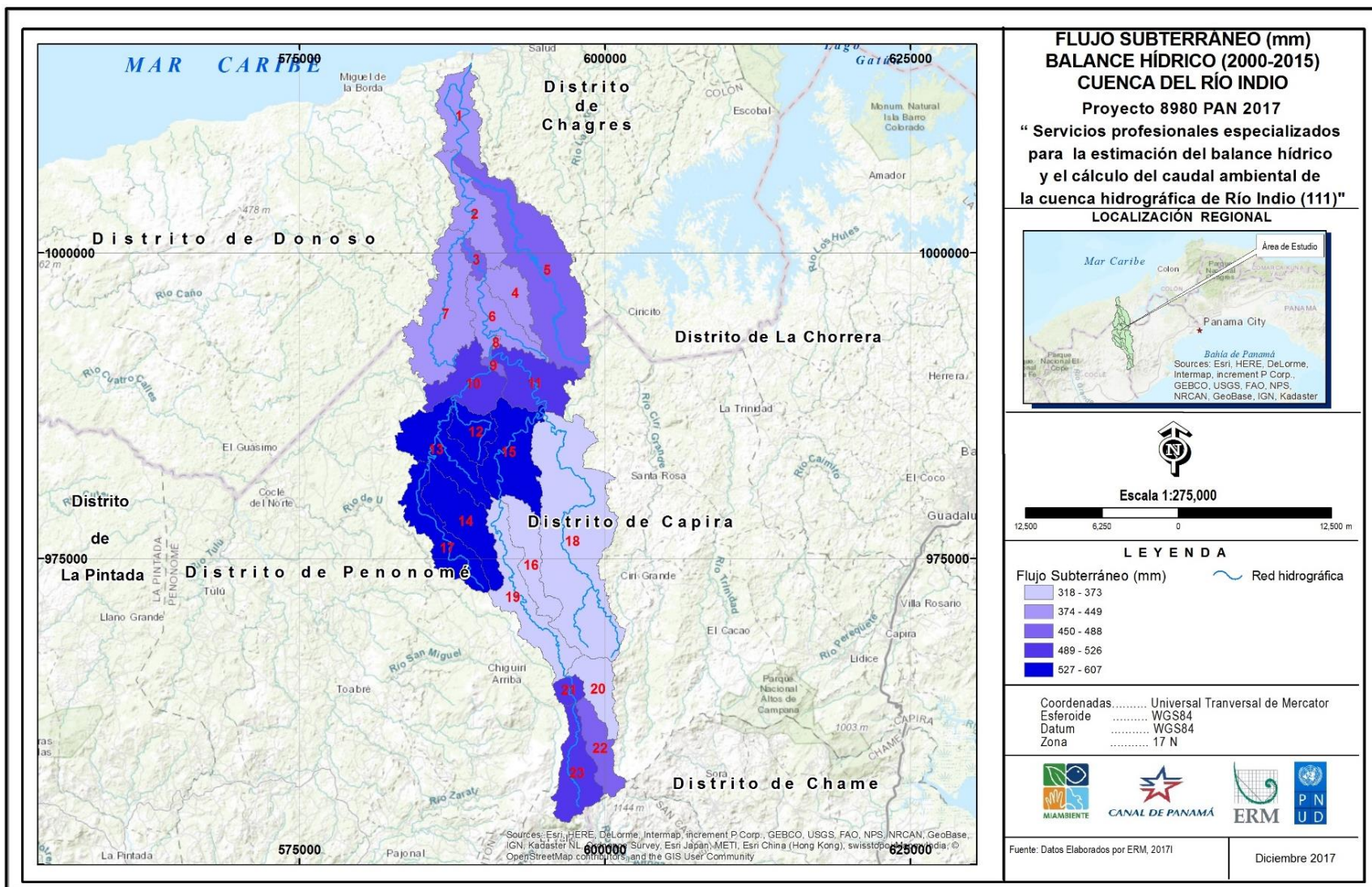
Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 15:** Distribución espacial del flujo lateral (periodo 2000-2015)

### **7.1.5 FLUJO SUBTERRÁNEO**

El flujo subterráneo o caudal base corresponde al agua que fluye desde el almacenamiento del agua subterránea hacia los cauces. La contribución del agua subterránea a los cauces en las distintas subcuencas a nivel anual se muestra en la Figura 16.





Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 16: Distribución espacial del aporte del flujo subterráneo (periodo 2000-2015)

## 7.1.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN

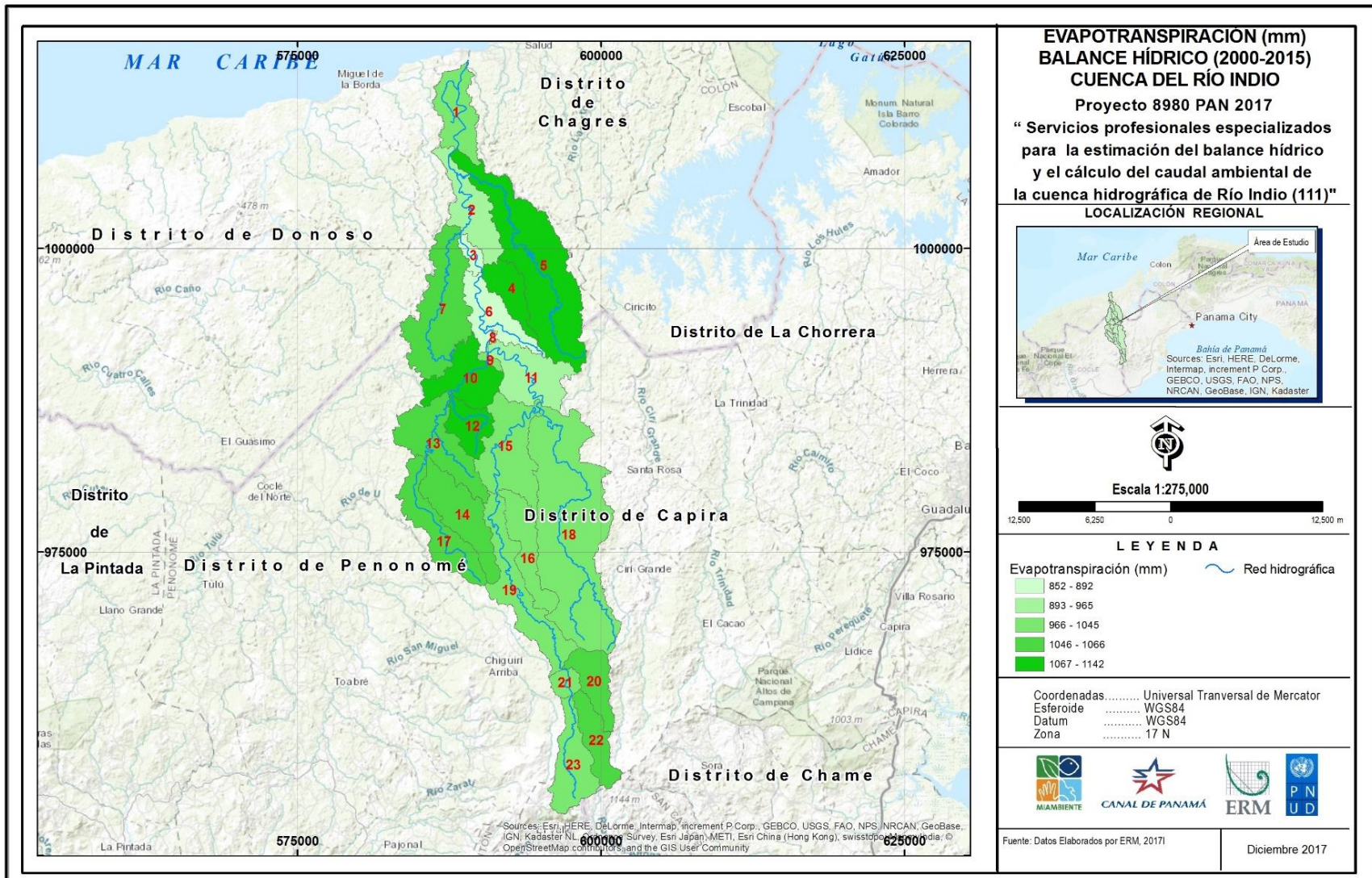
La evapotranspiración real corresponde a las pérdidas de humedad del suelo, asociadas a la transpiración de las plantas. Las subcuencas 5, 4, 10, y 12 presentan los valores más altos de evapotranspiración en toda la cuenca, tal y como se muestra en la Figura 17.

En la Tabla 53 se presentan algunas de las variables que forman parte del balance hídrico correspondiente a las 23 subcuencas que forman parte de la cuenca del río Indio (periodo 2000-2015).

*Tabla 53: Promedio anual 2000-2015 de las variables del balance hídrico por subcuenca*

Subcuenca	Escurrentía SURQ (mm)	Flujo Lateral Lat Q (mm)	Flujo Subterráneo Gwq (mm)	Producción de Agua - WYLD (mm)	ET (mm)
1	609.62	1752.52	721.69	3121.21	1592.53
2	678.15	1802.34	926.21	3455.40	1218.54
3	819.16	2116.36	990.40	3977.66	1114.36
4	175.47	1210.19	156.34	1550.22	1447.94
5	198.91	1185.55	192.74	1587.28	1430.41
6	659.17	1811.00	874.88	3390.73	1150.17
7	317.58	1414.18	352.73	2102.98	1362.58
8	563.14	1728.53	808.60	3142.50	1197.82
9	430.16	1256.17	730.17	2454.86	1319.75
10	182.23	1122.78	155.55	1468.77	1477.31
11	541.86	1546.30	749.11	2876.54	1242.11
12	161.50	1149.09	158.14	1477.11	1468.00
13	161.40	1156.31	154.20	1480.10	1467.42
14	163.48	1150.93	157.50	1480.25	1461.96
15	270.73	1290.60	349.27	1928.94	1397.79
16	59.36	867.48	47.47	976.95	1423.00
17	159.62	1151.33	160.09	1479.48	1447.19
18	78.07	940.35	80.76	1103.49	1386.41
19	54.91	889.75	45.14	992.27	1423.62
20	316.02	1969.91	167.72	2461.96	1260.36
21	351.03	1857.31	258.03	2479.44	1247.93
22	317.32	1901.10	223.05	2452.68	1268.95
23	347.26	1882.13	262.43	2505.24	1218.45

Fuente: ERM, octubre 2017



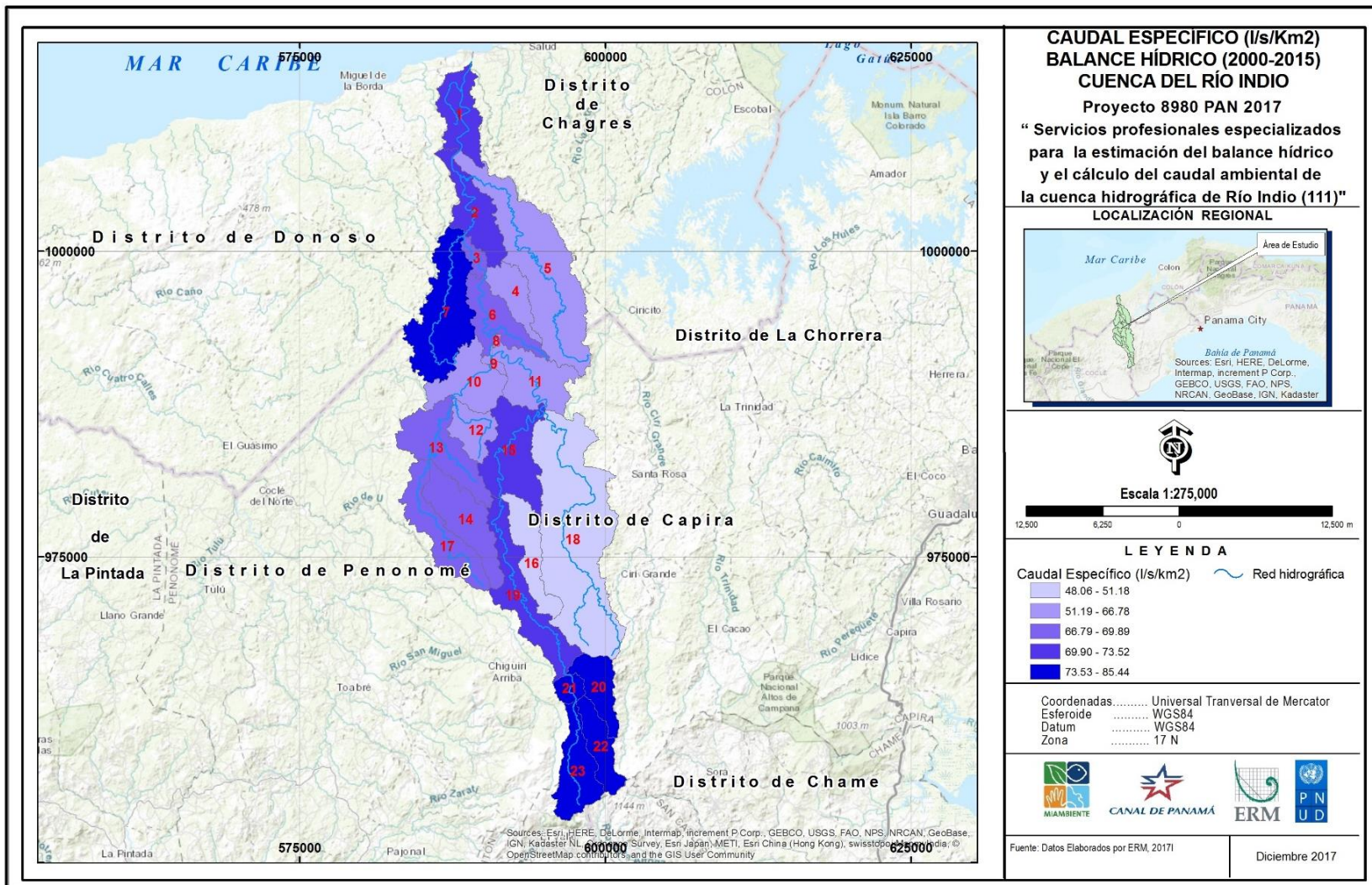
Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 17:** *Distribución espacial de la evapotranspiración (periodo 2000-2015)*

### 7.1.7 CAUDAL ESPECÍFICO 2000-2015

El caudal específico o rendimiento de la cuenca ( $l/s/km^2$ ), es una variable hidrológica que corresponde a la producción de caudal de una cuenca por superficie, en donde el caudal se estima en litros por segundo ( $l/s$ ) y la superficie de la cuenca en kilómetros cuadrados ( $km^2$ ). Esta variable permite tener una estimación del comportamiento hidrológico de la cuenca al momento de realizar un estudio de aprovechamiento del recurso hídrico y se obtiene en función del caudal promedio de la cuenca, por lo que un buen registro de datos históricos sería lo recomendable para su estimación.

En la Figura 18 se muestra la distribución espacial del caudal por unidad de superficie de la cuenca, el cual corresponde al caudal específico.



Fuente: ERM, diciembre 2017

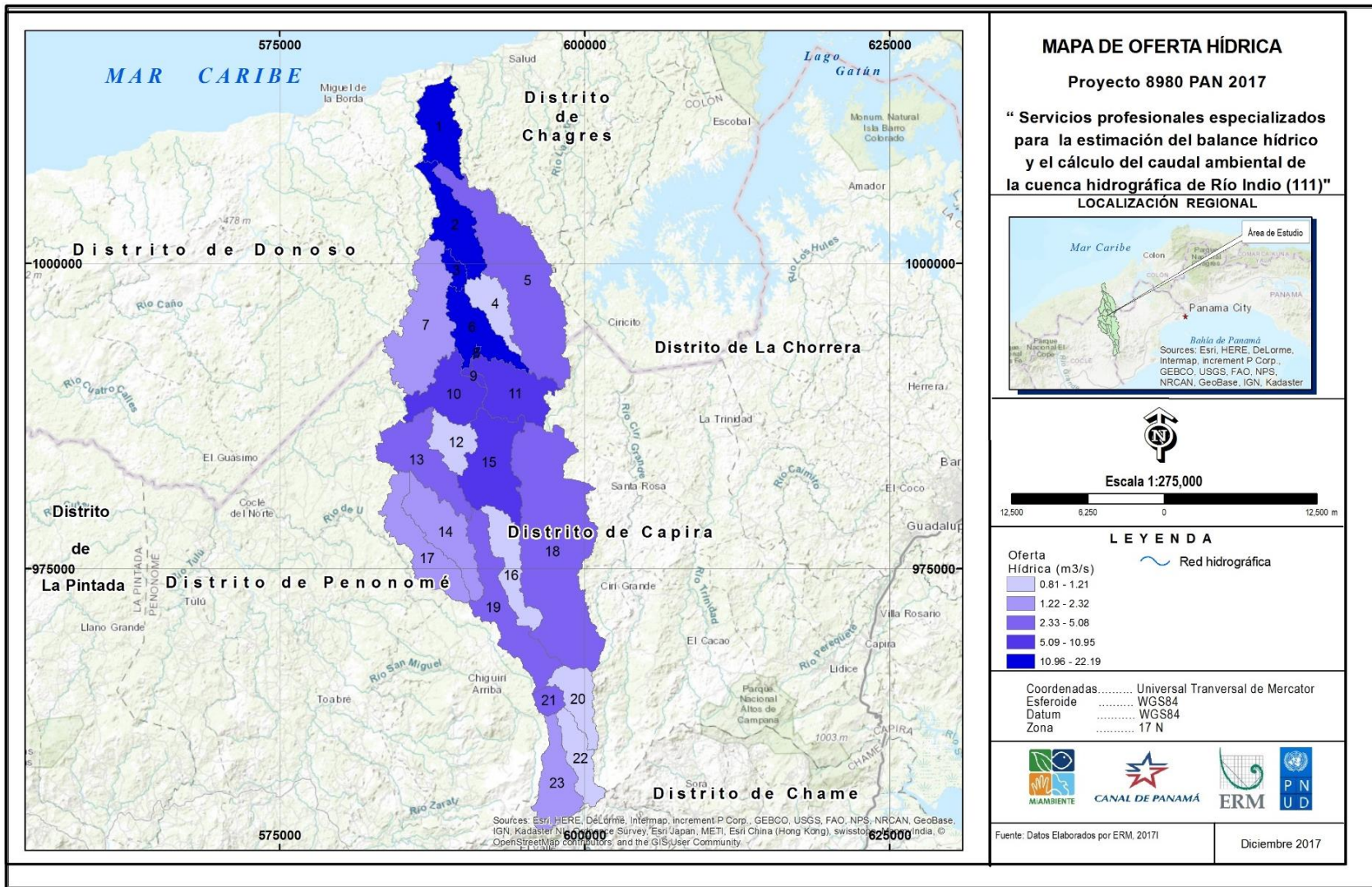
Figura 18: Caudal específico cuenca del río Indio

## **7.1.8 DISPONIBILIDAD HÍDRICA E ÍNDICE DE ESCASEZ 2000 – 2015**

Considerando que en los TDR se especifica que los resultados del estudio deberán corresponder como mínimo a los 10 últimos años, se realizó el análisis de demanda y disponibilidad hídrica para el periodo 2000-2015. Los resultados de esta actualización se presentan a continuación:

### **7.1.8.1 OFERTA HÍDRICA 2000-2015**

La oferta hídrica de la cuenca del río Indio corresponde al flujo o caudal de salida de la cuenca o volumen de escurrimiento anual en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ). Este caudal o flujo se obtiene de los datos de flujo de corriente diarios promedio de salida (FLOW\_OUT) en  $m^3/s$ . En la Figura 19 se muestra la variación espacial por subcuenca de la oferta hídrica en  $m^3/s$ , mientras que en la Tabla 54 se muestra la oferta hídrica mensual dividida por subcuenca según el modelo SWAT.



Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 19: Distribución de la oferta hídrica promedio en la cuenca del río Indio (periodo 2000-2015)**

**Tabla 54:** *Oferta hídrica mensual promedio por subcuenca según el SWAT para la cuenca del de río Indio (m³/s) para el periodo 2000-2015.*

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	13.7	4.60	1.82	5.06	22.68	26.15	22.84	25.36	24.75	38.31	46.76	32.94	22.08
2	12.46	4.66	2.18	5.30	20.56	23.53	20.71	22.75	22.31	33.60	40.96	29.16	19.85
3	11.68	4.66	2.41	5.43	18.68	21.14	18.72	20.37	20.05	29.75	36.25	26.00	17.93
4	0.54	0.32	0.25	0.35	0.87	0.94	0.87	0.96	0.94	1.23	1.35	1.03	0.80
5	2.27	1.04	0.66	1.14	3.43	3.87	3.44	3.92	3.79	5.37	6.15	4.58	3.31
6	11.65	4.79	2.62	5.57	18.47	20.81	18.50	20.04	19.77	29.03	35.25	25.38	17.66
7	1.50	0.77	0.55	0.86	2.43	2.72	2.47	2.76	2.69	3.67	4.14	3.12	2.31
8	11.65	5.05	2.96	5.79	18.28	20.45	18.28	19.71	19.47	28.27	34.09	24.65	17.39
9	4.58	2.54	1.83	2.86	7.49	7.96	7.21	7.79	7.69	10.46	12.59	8.94	6.83
10	4.64	2.62	1.92	2.93	7.56	8.01	7.27	7.85	7.75	10.48	12.57	8.96	6.88
11	7.35	2.77	1.38	3.20	11.21	12.89	11.49	12.34	12.21	18.11	21.84	16.04	10.90
12	0.59	0.37	0.30	0.40	0.95	1.00	0.93	0.99	0.98	1.27	1.50	1.08	0.86
13	3.45	2.01	1.51	2.25	5.62	5.88	5.34	5.71	5.68	7.59	9.19	6.51	5.06
14	1.23	0.76	0.61	0.84	1.99	2.06	1.89	2.01	2.00	2.61	3.10	2.23	1.78
15	4.79	2.06	1.18	2.44	7.55	8.48	7.68	8.07	8.05	11.43	13.52	10.12	7.11
16	0.61	0.32	0.24	0.33	0.86	0.95	0.89	0.95	0.95	1.26	1.47	1.12	0.83
17	1.17	0.70	0.54	0.77	1.87	1.96	1.79	1.91	1.90	2.51	3.02	2.16	1.69
18	2.56	1.04	0.62	1.13	3.74	4.29	3.89	4.19	4.16	6.01	7.25	5.37	3.69
19	3.43	1.51	0.92	1.79	5.29	5.97	5.49	5.70	5.71	7.88	9.04	7.09	4.99
20	0.80	0.44	0.33	0.53	1.36	1.47	1.37	1.41	1.42	1.82	1.98	1.57	1.21
21	2.21	1.19	0.87	1.39	3.51	3.83	3.60	3.69	3.70	4.81	5.30	4.28	3.20
22	0.82	0.47	0.36	0.54	1.31	1.42	1.34	1.37	1.38	1.76	1.92	1.54	1.18
23	1.19	0.66	0.48	0.76	1.90	2.06	1.94	1.99	2.00	2.59	2.85	2.30	1.73

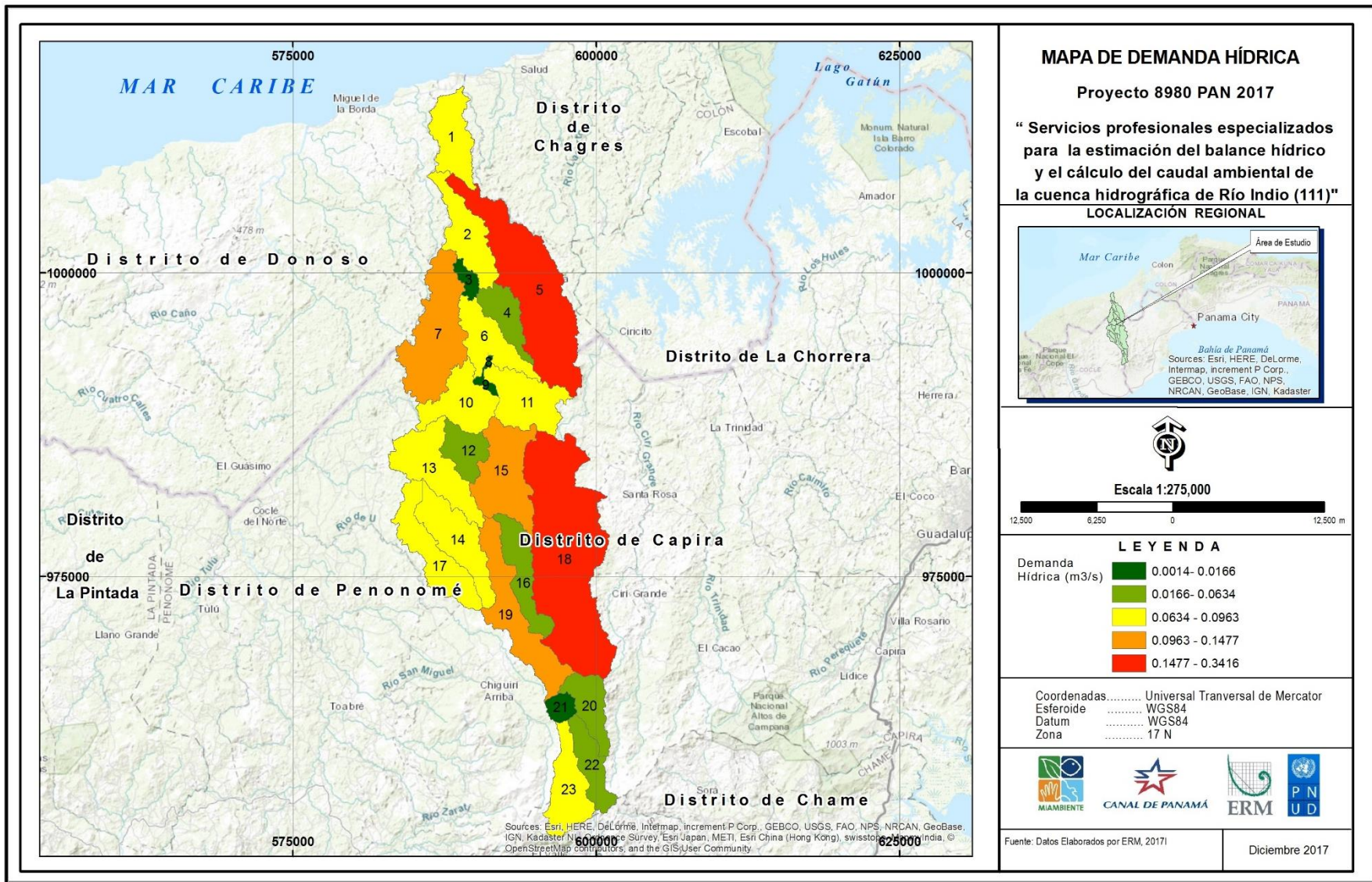
Fuente: ERM, octubre 2017



### **7.1.8.2 DEMANDA HÍDRICA 2000-2015**

La demanda hídrica considerada para el Escenario No. 1 incluyó los datos recolectados y presentados en la sección 3 de este informe. La información de demanda hídrica fue estimada a nivel mensual en m<sup>3</sup>/s. Esta información fue suministrada como valores mensuales para toda la cuenca del río Indio y redistribuida por subcuencas a partir del cálculo del rendimiento hídrico de la cuenca a nivel mensual con los datos totales de demanda. Adicionalmente, la información de demanda hídrica fue llevada a valores por subcuenca considerando el área particular de cada subcuenca ya que el modelo SWAT requiere especializar los datos de demanda por subcuenca.

La Figura 20 muestra la distribución espacial de la demanda hídrica total promedio anual para cada subcuenca; mientras que en la Tabla 55 se muestra la demanda hídrica mensual dividida por subcuenca considerando los factores descritos en la sección 4.0 de este informe.



Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 20: Demanda hídrica de la cuenca del río Indio para el periodo 2000-2015

**Tabla 55: Demanda hídrica mensual promedio por subcuenca para la cuenca del de río Indio (m³/s) para el periodo 2000-2015.**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	0.09	0.10	0.09	0.10	0.08	0.09	0.05	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07
2	0.10	0.10	0.10	0.11	0.09	0.10	0.05	0.03	0.04	0.04	0.07	0.08	0.08
3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04
5	0.30	0.33	0.30	0.34	0.28	0.30	0.17	0.10	0.12	0.13	0.21	0.25	0.23
6	0.09	0.09	0.09	0.10	0.08	0.09	0.05	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07
7	0.19	0.21	0.19	0.21	0.18	0.19	0.11	0.06	0.07	0.08	0.13	0.16	0.15
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.09	0.10	0.06	0.03	0.04	0.04	0.07	0.08	0.08
11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.10	0.11	0.06	0.03	0.04	0.05	0.08	0.09	0.08
12	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04
13	0.12	0.13	0.12	0.14	0.12	0.12	0.07	0.04	0.05	0.05	0.09	0.10	0.10
14	0.11	0.12	0.11	0.13	0.11	0.11	0.06	0.04	0.04	0.05	0.08	0.09	0.09
15	0.14	0.16	0.14	0.16	0.13	0.14	0.08	0.05	0.05	0.06	0.10	0.12	0.11
16	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.06	0.07	0.06
17	0.12	0.12	0.11	0.13	0.11	0.11	0.06	0.04	0.04	0.05	0.08	0.09	0.09
18	0.44	0.48	0.44	0.49	0.41	0.43	0.25	0.14	0.17	0.18	0.31	0.36	0.34
19	0.15	0.16	0.14	0.16	0.14	0.14	0.08	0.05	0.06	0.06	0.10	0.12	0.11
20	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
21	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
22	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
23	0.10	0.10	0.09	0.11	0.09	0.09	0.05	0.03	0.04	0.04	0.07	0.08	0.07

Fuente: ERM, octubre 2017

### 7.1.8.3 DISPONIBILIDAD HÍDRICA 2000-2015

Para determinar la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Indio y sus subcuencas, se tomó como referencia la metodología ajustada y reportada en la Norma Oficial Mexicana (NOM 011 CNA 2000). Dicha norma es específica para la conservación del recurso agua.

$$\textit{Disponibilidad} = \textit{Vesc} - \textit{Vcomp}$$

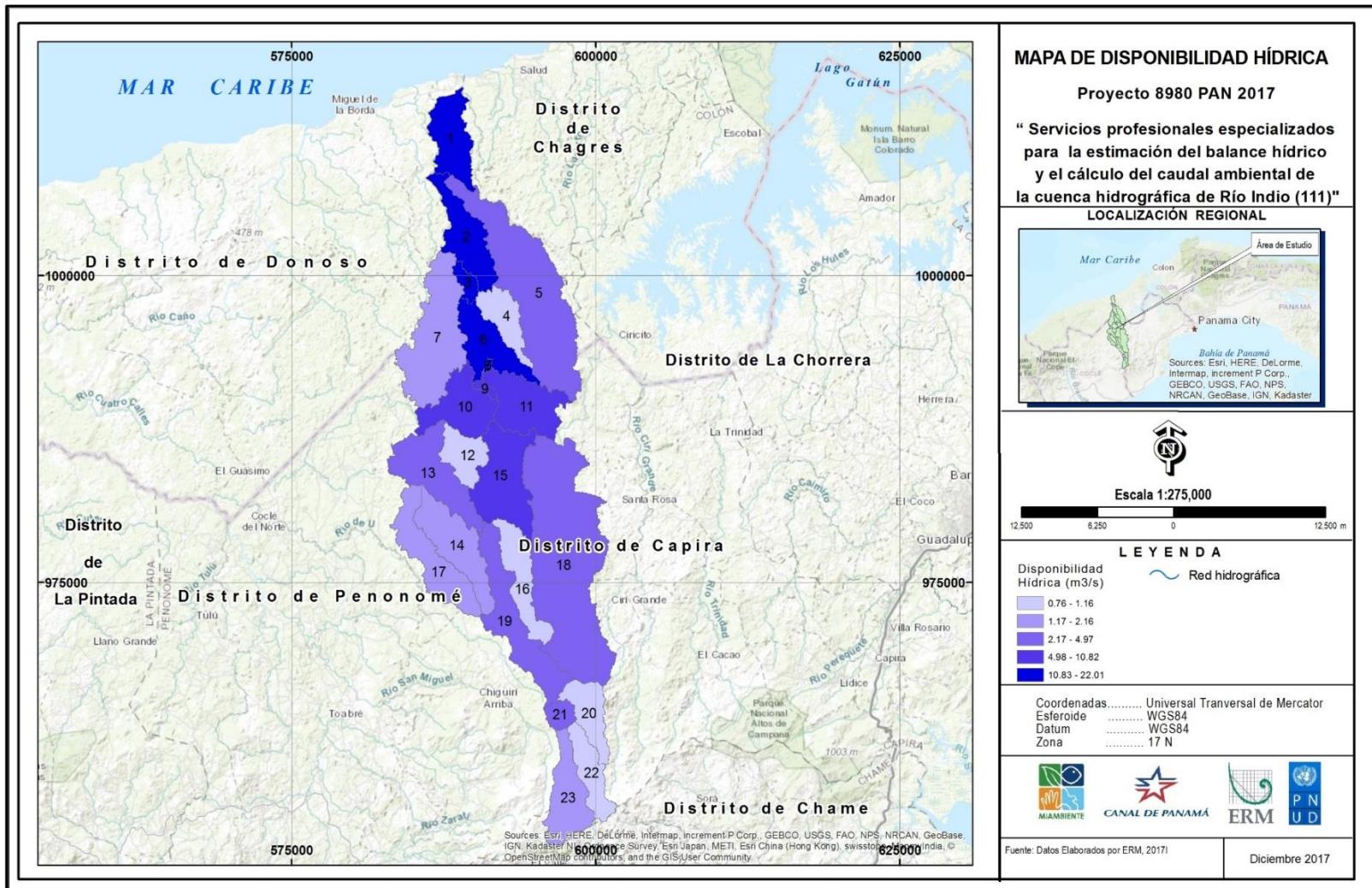
En donde:

Disp = Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca en m<sup>3</sup>

Vesc = Volumen medio anual de escurrimiento en la salida de la cuenca en m<sup>3</sup>

Vcomp= Volumen actual comprometido aguas abajo en m<sup>3</sup>

El cálculo de la disponibilidad hídrica para la cuenca del río Indio consistió en hacer la diferencia entre la oferta y la demanda. En la Figura 21 se presentan los resultados de disponibilidad hídrica para el periodo 2000-2015 (Escenario No. 1).



Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 21: Disponibilidad hídrica de la cuenca del río Indio 2000-2015

**Tabla 56: Disponibilidad hídrica mensual promedio por subcuenca para la cuenca de río Indio (m³/s) para el Escenario No. 1**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	13.63	4.51	1.73	4.97	22.60	26.06	22.79	25.33	24.72	38.28	46.69	32.87	22.01
2	12.37	4.56	2.08	5.19	20.47	23.43	20.66	22.72	22.27	33.56	40.89	29.08	19.77
3	11.66	4.64	2.39	5.41	18.66	21.12	18.71	20.36	20.04	29.74	36.23	25.99	17.91
4	0.49	0.26	0.20	0.29	0.81	0.89	0.84	0.94	0.92	1.20	1.31	0.98	0.76
5	1.96	0.72	0.36	0.81	3.15	3.57	3.27	3.82	3.67	5.25	5.94	4.33	3.07
6	11.56	4.70	2.53	5.47	18.39	20.72	18.45	20.02	19.73	28.99	35.19	25.31	17.59
7	1.31	0.56	0.36	0.65	2.26	2.53	2.37	2.70	2.61	3.59	4.01	2.96	2.16
8	11.65	5.05	2.96	5.79	18.28	20.45	18.28	19.70	19.47	28.27	34.09	24.65	17.39
9	4.57	2.53	1.82	2.85	7.48	7.95	7.20	7.78	7.68	10.46	12.59	8.94	6.82
10	4.54	2.51	1.83	2.83	7.47	7.92	7.22	7.82	7.72	10.44	12.50	8.88	6.81
11	7.24	2.66	1.27	3.08	11.11	12.78	11.43	12.30	12.17	18.07	21.76	15.95	10.82
12	0.54	0.31	0.24	0.33	0.90	0.94	0.90	0.97	0.95	1.24	1.47	1.03	0.82
13	3.33	1.88	1.39	2.12	5.51	5.76	5.27	5.67	5.63	7.54	9.10	6.41	4.97
14	1.12	0.64	0.49	0.72	1.88	1.95	1.82	1.98	1.96	2.56	3.02	2.13	1.69
15	4.64	1.91	1.04	2.28	7.41	8.34	7.60	8.03	8.00	11.37	13.42	10.00	7.00
16	0.52	0.24	0.15	0.24	0.78	0.87	0.85	0.92	0.92	1.23	1.41	1.06	0.77
17	1.06	0.58	0.43	0.65	1.77	1.85	1.72	1.87	1.86	2.46	2.94	2.07	1.60
18	2.12	0.57	0.18	0.64	3.33	3.86	3.64	4.05	3.99	5.83	6.94	5.01	3.35
19	3.28	1.35	0.78	1.63	5.16	5.83	5.41	5.65	5.65	7.82	8.94	6.97	4.87
20	0.74	0.37	0.27	0.46	1.30	1.41	1.34	1.39	1.39	1.79	1.94	1.52	1.16
21	2.18	1.17	0.85	1.37	3.49	3.81	3.58	3.68	3.69	4.80	5.28	4.26	3.18
22	0.76	0.40	0.30	0.47	1.25	1.36	1.30	1.35	1.35	1.73	1.88	1.49	1.14
23	1.10	0.55	0.39	0.66	1.81	1.97	1.89	1.96	1.96	2.55	2.78	2.22	1.65

Fuente: ERM, octubre 2017

#### 7.1.8.4 ÍNDICE DE ESCASEZ 2000-2015

El índice de escasez de la cuenca de río Indio fue también actualizado para cada una de sus subcuencas utilizando los resultados obtenidos del modelo hidrológico del periodo 2000-2015. Para este análisis se utilizó como referencia la siguiente fórmula del programa hidrológico internacional de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)<sup>40</sup>.

$$IC = DH/OH * 100$$

En donde:

IC = Índice de escasez

DH = Demanda Hídrica

OH = Oferta Hídrica Superficial Neta

Las subcuencas 12, 14, 16, 19 y 20 presentan un índice de escasez anual moderado, el resto de subcuencas tiene un índice de escasez bajo, reflejando la alta disponibilidad hídrica de la cuenca del río Indio (ver Figura 22). La escala utilizada para la valoración del Índice de Escasez para los dos (2) escenarios evaluados se muestra en la Tabla 57, la cual presenta cuatro diferentes categorías (bajo, moderado, medio y alto).

---

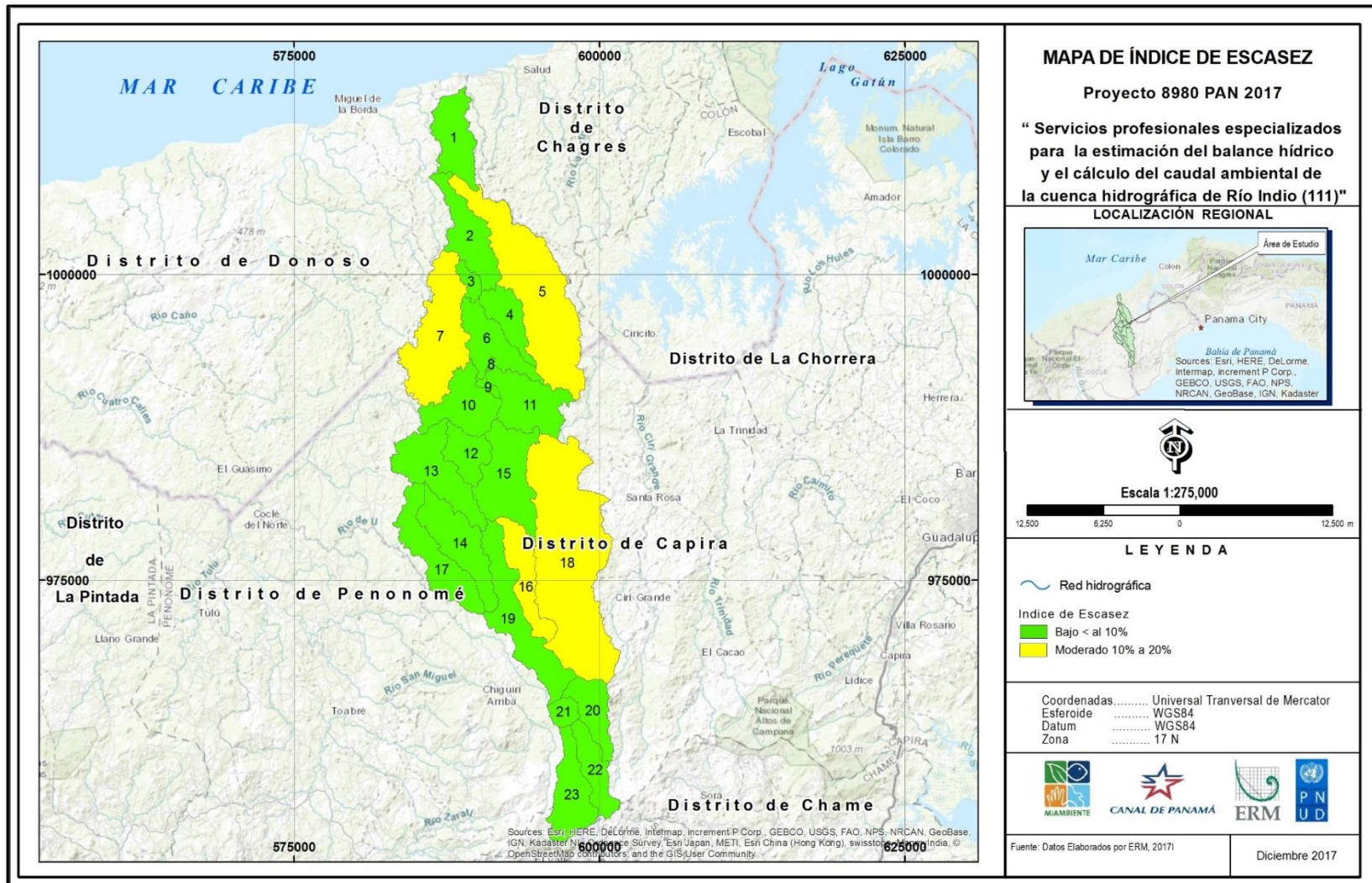
<sup>40</sup> <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>

**Tabla 57: Valoración del Índice de Escasez de Agua**

<b>Categoría del índice de escasez</b>	<b>Porcentaje de la oferta hídrica utilizada</b>	<b>Color</b>	<b>Explicación</b>
Alto	>40%	Rojo	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico.
Medio	20-40%	Naranja	Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y 40% de la oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico-requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos.
Moderado	10-20%	Amarillo	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo.
Bajo	<10%	Verde	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico.

Fuente: UNESCO, septiembre 2004.





Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 22: Índice de escasez de la cuenca del río Indio para el periodo 2000-2015

**Tabla 58: Índice de escasez mensual promedio por subcuenca para la cuenca de río Indio (%) bajo el Escenario No. 1**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	0.65	2.09	4.85	1.95	0.36	0.34	0.22	0.11	0.14	0.10	0.13	0.22	0.93
2	0.78	2.24	4.42	2.03	0.44	0.41	0.26	0.14	0.17	0.12	0.17	0.27	0.95
3	0.15	0.40	0.72	0.36	0.09	0.08	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.06	0.17
4	10.61	19.47	22.43	18.24	6.17	6.01	3.75	1.92	2.34	1.95	2.97	4.60	8.37
5	13.39	31.34	45.20	29.35	8.20	7.70	4.97	2.48	3.05	2.34	3.43	5.44	13.07
6	0.76	1.98	3.33	1.75	0.44	0.42	0.27	0.14	0.17	0.13	0.17	0.29	0.82
7	12.70	26.82	34.50	24.44	7.29	6.90	4.36	2.21	2.71	2.16	3.21	5.03	11.03
8	0.02	0.04	0.06	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
9	0.15	0.30	0.38	0.27	0.09	0.09	0.06	0.03	0.04	0.03	0.04	0.07	0.13
10	2.11	4.02	5.03	3.69	1.20	1.20	0.76	0.40	0.48	0.39	0.54	0.90	1.73
11	1.48	4.24	7.83	3.78	0.90	0.83	0.54	0.28	0.34	0.25	0.35	0.56	1.78
12	9.47	16.55	18.84	15.67	5.50	5.54	3.41	1.82	2.19	1.84	2.60	4.28	7.31
13	3.61	6.66	8.15	6.11	2.06	2.08	1.32	0.70	0.83	0.68	0.94	1.57	2.89
14	9.29	16.23	18.73	15.04	5.36	5.46	3.43	1.82	2.18	1.82	2.57	4.22	7.18
15	3.02	7.54	12.12	6.55	1.78	1.67	1.06	0.57	0.68	0.52	0.74	1.17	3.12
16	13.56	27.28	34.43	27.39	8.86	8.47	5.19	2.77	3.30	2.69	3.89	5.99	11.99
17	9.83	17.68	21.11	16.45	5.69	5.76	3.63	1.93	2.30	1.89	2.65	4.36	7.77
18	17.26	45.54	70.78	43.39	10.95	10.10	6.41	3.37	4.04	3.04	4.24	6.75	18.82
19	4.25	10.41	15.64	8.99	2.56	2.40	1.50	0.82	0.97	0.77	1.12	1.69	4.26
20	7.92	15.61	18.95	13.19	4.33	4.23	2.60	1.44	1.70	1.44	2.23	3.31	6.41
21	0.97	1.93	2.44	1.70	0.57	0.55	0.34	0.19	0.22	0.18	0.28	0.41	0.81
22	7.62	14.28	17.02	12.80	4.41	4.30	2.63	1.46	1.72	1.47	2.26	3.32	6.11
23	8.02	15.69	19.56	13.87	4.69	4.55	2.78	1.54	1.82	1.53	2.34	3.42	6.65

Fuente: ERM, octubre 2017

En la Tabla 59, se presenta un resumen con la demanda y oferta promedio anual correspondiente al período (2000-2015) para la cuenca del río Indio.

**Tabla 59: Demanda y oferta promedio anual de la cuenca de río Indio (período 2000-2015)**

Subcuenca	Demanda (m <sup>3</sup> /s)	Oferta (m <sup>3</sup> /s)
1	0.07	22.08
2	0.08	19.85
3	0.01	17.93
4	0.04	0.80
5	0.23	3.31
6	0.07	17.66
7	0.15	2.31
8	0.00	17.39
9	0.01	6.83
10	0.08	6.88
11	0.08	10.90
12	0.04	0.86
13	0.10	5.06
14	0.09	1.78
15	0.11	7.11
16	0.06	0.83
17	0.09	1.69
18	0.34	3.69
19	0.11	4.99
20	0.05	1.21
21	0.02	3.20
22	0.05	1.18
23	0.07	1.73

Fuente: ERM, octubre 2017

## 7.2 CAUDALES MÍNIMOS PARA NAVEGACIÓN

Considerando que el cauce principal utilizado para la navegación es el río Indio, desde su desembocadura al Mar Caribe hasta su confluencia con el río Boca de Uracillo, se utilizaron los caudales promedio anuales de las subcuencas correspondientes al tramo bajo utilizado para navegación. A estos caudales se les

aplicó la fórmula de flujo mínimo para navegación (ver sección 5), asumiendo un  $T = 1$  para aguas quietas. El uso de este método permitió una evaluación rápida de las condiciones favorables para llevar a cabo actividades de navegación en el tramo bajo de la cuenca de río Indio. En la Tabla 60 se resumen los caudales mínimos para navegación calculados para las subcuencas 1, 2, 3 y 6 que forman la cuenca de río Indio. En general, el caudal mínimo de navegación corresponde aproximadamente al 27 % del caudal medio anual.

*Tabla 60: Caudal mínimo estimado para navegación*

Subcuenca	Q mínimo requerido para navegación (m <sup>3</sup> /s)
1	6.0
2	5.4
3	4.9
6	4.8

Fuente: ERM, diciembre 2017

### 7.3 CAUDALES AMBIENTALES

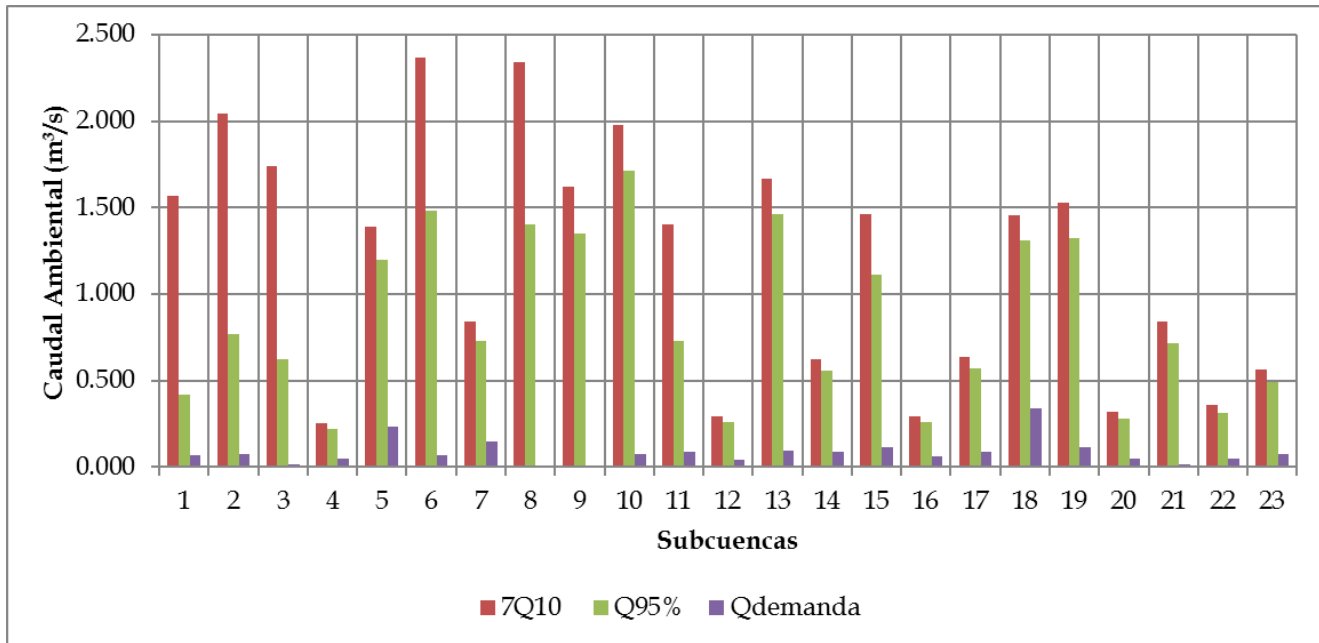
En esta sección se presenta un resumen de los métodos hidrológicos utilizados para estimar los caudales ambientales por subcuenca. Estos métodos incluyeron la generación de curvas de excedencia y estadísticas de caudales mínimos (p.ej., 7Q10). Las curvas de excedencia muestran el porcentaje de días en el que un caudal particular es excedido en un punto específico de la cuenca, en este caso se calculó para cada una de las 23 subcuencas que forman el área de estudio. Además, se tomaron las series de tiempo generadas por el modelo hidrológico SWAT para cada una de las 23 subcuencas y se aplicó la estadística 7Q10 que es la duración de caudal mínimo en 7-días con 10 % de probabilidad de ocurrencia en cualquier año.

En la Tabla 61 se presenta un resumen de los caudales de excedencia y caudales mínimos 7Q10 para cada una de las 23 subcuencas considerando el periodo de caudales generados del modelo hidrológico calibrado. Un gráfico comparativo de los caudales Q95 %, 7Q10 y el caudal promedio de demanda considerando las demandas socioeconómicas y biológicas de la cuenca de río Indio se presenta en la Figura 23. En el Anexo 5 se presentan cada una de las curvas de excedencia por subcuenca y los valores 7Q10 a nivel mensual para cada una de las 23 subcuencas.

**Tabla 61: Resumen de caudales de excedencia y caudales mínimos (m<sup>3</sup>/s) para cada una de las 23 subcuencas**

Subcuencas	% que se excede el Caudal				7Q10
	85%	90%	95%	100%	
Subcuenca 1	2.55	0.79	0.42	0.19	1.57
Subcuenca 2	3.42	1.73	0.77	0.27	2.04
Subcuenca 3	3.01	1.56	0.62	0.20	1.74
Subcuenca 4	0.30	0.25	0.22	0.16	0.25
Subcuenca 5	1.61	1.38	1.20	0.79	1.39
Subcuenca 6	3.65	2.33	1.48	0.26	2.37
Subcuenca 7	0.98	0.83	0.73	0.53	0.84
Subcuenca 8	3.73	2.39	1.40	0.01	2.34
Subcuenca 9	2.09	1.74	1.35	0.03	1.62
Subcuenca 10	2.42	2.06	1.72	0.67	1.98
Subcuenca 11	2.46	1.54	0.73	0.33	1.41
Subcuenca 12	0.34	0.29	0.26	0.19	0.29
Subcuenca 13	2.00	1.70	1.46	0.79	1.67
Subcuenca 14	0.74	0.64	0.56	0.41	0.63
Subcuenca 15	2.22	1.61	1.11	0.53	1.46
Subcuenca 16	0.32	0.29	0.26	0.17	0.29
Subcuenca 17	0.75	0.65	0.57	0.42	0.64
Subcuenca 18	1.66	1.45	1.31	0.79	1.45
Subcuenca 19	2.05	1.58	1.33	0.66	1.53
Subcuenca 20	0.41	0.33	0.28	0.18	0.32
Subcuenca 21	1.13	0.86	0.72	0.37	0.84
Subcuenca 22	0.45	0.36	0.31	0.21	0.36
Subcuenca 23	0.70	0.56	0.49	0.33	0.56

Fuente: ERM, diciembre 2017



Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 23:** Comparación de caudales ambientales de las 23 subcuencas de río Indio

## 7.4 CALIDAD DE AGUA 2000-2015

El análisis de calidad del agua de la cuenca de río Indio, bajo condiciones existentes, fue evaluado considerando dos fuentes principales de información. La primera incluye datos existentes y disponibles de muestreos de calidad del agua en diferentes fuentes hídricas que forman parte de la cuenca; y 2) los resultados de caudales generados del modelo hidrológico SWAT.

### 7.4.1 DATOS HISTÓRICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Durante el período en que parte de la cuenca del río Indio (Cuenca No. 111), fue incluida en los límites de la Cuenca del Canal de Panamá (Cuenca No. 115), se llevaron a cabo muestreos de calidad de agua como parte del “Programa de Vigilancia y Seguimiento de calidad de agua en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá”, para medir algunas variables fisicoquímicas que sirven como indicador para con el objetivo de conservar la calidad del recurso hídrico. A continuación, se presentan tablas resumen de los resultados de calidad del

agua y las estaciones reportadas en los informes elaborados por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) durante los años 2004 y 2005:

### **INFORME DE CALIDAD DE AGUA (2003-2005)**

En este informe, preparado por la ACP, se reportan resultados de calidad del agua para diferentes estaciones ubicadas dentro de la cuenca de río Indio, entre las cuales se encuentran: 1) El Silencio; 2) Tres Hermanas; 3) Boca de Uracillo; y 4) Las Marías. En la Tabla 62 se presenta un resumen con la descripción y ubicación de estas cuatro estaciones de monitoreo de calidad del agua ubicadas dentro de la cuenca de río Indio; mientras que de la Tabla 63 a la Tabla 66 se presentan valores mínimos, promedio y máximos de los parámetros recolectados durante los años 2004 y 2005.



**Tabla 62: Resumen de las estaciones de muestro de calidad del agua ubicadas dentro de la cuenca de río Indio**

Estación	Coordenadas de Ubicación en UTM	Descripción
El Silencio	591327 E y 980274 N	La estación El Silencio se encuentra en el curso principal del río Indio oeste, después de la quebrada Bonita (aproximadamente 1 km), al noreste de la comunidad de Las Claras Abajo, corregimiento de río Indio, distrito de Penonomé, provincia de Coclé. El área de captación de esta estación es de 105.25 km <sup>2</sup> .
Tres Hermanas	590002 E y 995120 N	La estación Tres Hermanas está localizada a 1.2 km aguas abajo del cerro Tres Hermanas, en la provincia de Coclé. Presenta un área de captación de 383 km <sup>2</sup> y registra un caudal promedio anual de 18,6 m <sup>3</sup> /s <sup>41</sup> .
Boca de Uracillo	590689 E y 992220 N	La estación Boca de Uracillo está localizada a 1.5 km aguas abajo de la confluencia con el río Uracillo, en la provincia de Coclé. Presenta un área de captación de 365 km <sup>2</sup> y registra un caudal promedio anual de 16.8 m <sup>3</sup> /s <sup>42</sup> .
Las Marías	585608 E y 983364 N	<p>El río Uracillo es uno de los principales afluentes del río Indio. En su parte alta, tiene entre sus tributarios a las quebradas Las Pedregosas y Las Canoas. El curso medio, en su margen derecho, cuenta con dos tributarios importantes (en cuanto a sus aportes de agua), las quebradas La Tollosita y Las Marías. En el margen izquierdo se ubican las quebradas de Uracillo, El Aguila y El Silencio Arriba. En el tramo bajo se encuentra el río Coquillo y la quebrada Jacumilla (CICH43, 2003).</p> <p>La estación Las Marías se encuentra a 10 km aguas arriba de la confluencia con el río Indio, en la comunidad de Las Marías, corregimiento de río Indio. La misma presenta un área de captación de 46.7 km<sup>2</sup>. El río Uracillo en esta estación registra un caudal promedio anual de 1.98 m<sup>3</sup> (ACP, 2006a).</p>

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

<sup>41</sup> Anuario Hidrológico del Año 2006 de los ríos principales que forman parte de la Cuenca del Canal de Panamá.

<sup>42</sup> Anuario Hidrológico del Año 2006 de los ríos principales que forman parte de la Cuenca del Canal de Panamá.

<sup>43</sup> Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH).

**Tabla 63: Lista de parámetros de calidad de agua máximos, promedio, mínimos y número de observaciones realizadas en la estación El Silencio en río Indio**

Estación	Parámetro	Año							
		2004				2005			
		Máx	Promedio	Min	N	Máx	Promedio	Min	N
SIL	T (°C)	26,0	25,1	24,2	3	26,8	25,4	23,1	12
	Turb. (NTU)	27,6	10,6	1,8	3	66,1	11,3	,6	12
	OD (mg/l)	8,40	8,11	7,87	3	8,80	8,33	7,90	12
	pH (Unidades de pH)	7,85	7,63	7,50	3	7,86	7,43	6,65	12
	Cond. (µS/cm)	71,0	64,9	54,0	3	108,2	83,2	50,6	12
	S (ppt)	,039	,035	,029	3	,081	,048	,027	12
	% OD	105,0	101,5	97,9	3	111,0	102,8	98,0	12
	TSD (mg/l)	70	59	51	3	123	72	50	12
	TSS (mg/l)	61	22	2	3	65	14	1	12
	DBO (mg/l)	1	0	0	3	1	0	0	12
	Alc. total (mg/l CaCO3)	23	20	15	3	26	23	14	12
	NO2 (mg/l)	,001	,001	,001	3	,001	,001	,001	12
	NO3 (mg/l)	,212	,121	,059	3	,217	,104	,001	12
	PO4 (mg/l)	,009	,008	,006	3	,019	,008	,004	12
	SO4 (mg/l)	10,4	7,3	5,5	3	10,5	6,5	1,6	12
	Na+ (mg/l)	6	6	5	3	11	8	5	12
	Ca++ (mg/l)	4,8	4,7	4,4	3	7,0	5,6	3,4	12
	K+ (mg/l)	,88	,79	,75	3	1,40	1,01	,74	12
	Mg++ (mg/l)	2,0	1,7	1,4	3	3,0	2,1	1,1	12
	Dureza	20	19	17	3	29	23	14	12
E.coli (NMP/100ml)	4.611	1.828	286	3	2.987	722	104	12	
C. total (NMP/100ml)	155.307	60.234	8.162	3	111.990	26.879	3.538	12	

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

**Tabla 64: Lista de parámetros de calidad de agua máximos, promedio, mínimos y número de observaciones realizadas en la estación Tres Hermanas en río Indio**

Estación	Parámetro	Año							
		2004				2005			
		Máx	Promedio	Min	N	Máx	Promedio	Min	N
THE	T (°C)	28,7	26,1	24,7	10	28,5	26,3	24,7	12
	Turb. (NTU)	106,6	30,8	3,5	10	153,2	33,6	2,4	12
	OD (mg/l)	8,76	7,71	7,10	10	9,30	7,82	7,27	12
	pH (Unidades de pH)	7,66	7,51	7,29	10	7,78	7,30	6,55	12
	Cond. (µS/cm)	120,9	67,3	35,0	10	91,4	71,8	50,9	12
	S (ppt)	,036	,029	,019	10	,050	,039	,028	12
	% OD	98,7	93,9	87,0	10	102,0	95,5	88,0	12
	TSD (mg/l)	90	63	40	10	104	68	32	12
	TSS (mg/l)	140	27	2	10	129	40	4	12
	DBO (mg/l)	1	0	0	10	2	0	0	12
	Alc. total (mg/l CaCO3)	52	26	13	10	31	25	16	12
	NO2 (mg/l)	,001	,001	,001	10	,002	,001	,001	12
	NO3 (mg/l)	,268	,085	,013	10	,226	,080	,012	12
	PO4 (mg/l)	,014	,007	,002	10	,027	,009	,000	12
	SO4 (mg/l)	8,6	5,5	2,0	10	8,8	5,3	,0	12
	Na+ (mg/l)	10	6	3	10	8	6	3	12
	Ca++ (mg/l)	6,8	5,0	2,7	10	7,5	5,1	2,8	12
	K+ (mg/l)	1,30	,89	,66	10	1,36	,98	,75	12
	Mg++ (mg/l)	3,2	2,1	1,2	10	3,2	2,0	1,0	12
	Dureza	30	22	12	10	30	21	14	12
E.coli (NMP/100ml)	4.884	1.149	99	10	19.038	3.089	185	12	
C. total (NMP/100ml)	241.957	80.577	15.000	10	155.312	60.558	11.199	12	

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

**Tabla 65: Lista de parámetros de calidad de agua máximos, promedio, mínimos y número de observaciones realizadas en la estación Boca de Uracillo en río Indio**

Estación	Parámetro	Año							
		2004				2005			
		Máx	Promedio	Min	N	Máx	Promedio	Min	N
BDU	T (°C)	29,9	26,4	24,7	11	28,3	26,3	24,8	12
	Turb. (NTU)	120,0	23,2	1,5	11	210,0	34,4	1,9	12
	OD (mg/l)	8,80	7,84	6,70	11	8,90	8,09	7,41	12
	pH (Unidades de pH)	7,93	7,60	7,38	11	7,84	7,39	6,93	12
	Cond. (µS/cm)	91,5	65,2	37,0	11	91,8	67,9	47,6	12
	S (ppt)	,038	,030	,020	11	,050	,037	,027	12
	% OD	110,0	97,7	83,0	11	109,0	100,2	89,3	12
	TSD (mg/l)	97	63	40	11	131	72	34	12
	TSS (mg/l)	140	19	1	11	110	24	0	12
	DBO (mg/l)	1	0	0	11	1	0	0	12
	Alc. total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	36	24	12	11	31	24	14	12
	NO <sub>2</sub> (mg/l)	,001	,001	,001	11	,005	,002	,001	12
	NO <sub>3</sub> (mg/l)	,283	,070	,013	11	,347	,103	,005	12
	PO <sub>4</sub> (mg/l)	,022	,010	,003	11	,024	,008	,003	12
	SO <sub>4</sub> (mg/l)	8,5	5,7	3,3	11	7,3	4,5	,0	12
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	10	6	3	11	8	6	3	12
	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	13,0	6,0	2,8	11	7,2	5,0	2,0	12
	K <sup>+</sup> (mg/l)	1,29	,87	,67	11	1,27	,97	,68	12
	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	3,3	2,3	1,3	11	3,3	2,1	1,1	12
	Dureza	46	25	13	11	32	21	12	12
E.coli (NMP/100ml)	3.654	891	97	11	11.370	2.706	170	12	
C. total (NMP/100ml)	241.961	55.036	18.500	11	241.961	69.767	2.481	12	

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

**Tabla 66:** *Lista de parámetros de calidad de agua máximos, promedio, mínimos y número de observaciones realizadas en la estación Las Marías en río Uracillo*

Estación	Parámetro	Año							
		2004				2005			
		Máx	Promedio	Min	N	Máx	Promedio	Min	N
MAR	T (°C)	26,2	25,5	24,9	3	27,1	25,8	24,6	12
	Turb. (NTU)	5,5	4,0	3,0	3	30,9	5,9	1,9	12
	OD (mg/l)	8,10	7,63	7,12	3	8,80	7,59	5,40	12
	pH (Unidades de pH)	7,46	7,32	7,22	3	7,90	7,40	6,78	12
	Cond. (µS/cm)	50,9	48,0	44,5	3	82,2	68,6	48,1	12
	S (ppt)	,028	,026	,024	3	,061	,040	,026	12
	% OD	100,0	94,0	87,9	3	109,0	97,4	81,8	12
	TSD (mg/l)	59	45	38	3	111	65	43	12
	TSS (mg/l)	3	2	2	3	11	3	1	12
	DBO (mg/l)	1	0	0	3	1	0	0	12
	Alc. total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	25	23	20	3	34	28	17	12
	NO <sub>2</sub> (mg/l)	,001	,001	,001	3	,001	,001	,001	12
	NO <sub>3</sub> (mg/l)	,063	,050	,043	3	,218	,065	,017	12
	PO <sub>4</sub> (mg/l)	,005	,004	,002	3	,018	,006	,000	12
	SO <sub>4</sub> (mg/l)	2,6	1,9	1,2	3	7,0	2,8	,0	12
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	3	3	3	3	6	5	3	12
	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	4,4	4,1	3,9	3	7,5	5,5	3,2	12
	K <sup>+</sup> (mg/l)	,47	,44	,42	3	1,09	,70	,51	12
	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	2,3	2,2	2,1	3	4,0	2,6	1,4	12
	Dureza	20	19	18	3	33	24	17	12
E.coli (NMP/100ml)	1.153	664	419	3	3.974	963	189	12	
C. total (NMP/100ml)	22.468	13.651	4.347	3	24.810	14.090	3.873	12	

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

## 7.4.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO INDIO

### ANÁLISIS DE NITRATOS Y FOSFATOS

Como parte del análisis de las concentraciones de Nitratos y Fosfatos, se recopiló y procesó información de diferentes campañas de muestreo realizadas en diferentes sitios de la cuenca del río Indio. En las tablas 67, 68 y 69 se presentan los resultados de los muestreos realizados en las estaciones hidrológicas de Tres Hermanas en río Indio, Boca de Uracillo en río Indio y las Marías en Uracillo, en la cual se hace un relación con los caudales promedios diarios y mensuales que forman parte de los anuarios hidrológicos de los años 2004 y 2005.

**Tabla 67: Datos de Nitrato y Fosfato del río Indio en la estación Boca de Uracillo**

Estación	Fecha	NO <sub>2</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	Caudal diario (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mensual (m <sup>3</sup> /s)	NO <sub>3</sub> /Qmen	PO <sub>4</sub> /Qmen
Indio Boca de Uracillo	02/19/04	0.002	0.02	0.02	7.46	17.9	0.0011	0.0011
Indio Boca de Uracillo	03/10/04	0.002	0.015	0.02	5.34	8.35	0.0018	0.0024
Indio Boca de Uracillo	04/13/04	0.002	0.013	0.02	2.31	4.55	0.0029	0.0044
Indio Boca de Uracillo	05/06/04	0.002	0.283	0.02	17.4	5.34	0.0530	0.0037
Indio Boca de Uracillo	06/04/04	0.002	0.039	0.02	15.5	25.1	0.0016	0.0008
Indio Boca de Uracillo	07/02/04	0.002	0.027	0.02	9.76	12.9	0.0021	0.0016
Indio Boca de Uracillo	08/03/04	0.002	0.032	0.02	31.5	16.7	0.0019	0.0012
Indio Boca de Uracillo	09/06/04	0.002	0.161	0.02	27.3	28.1	0.0057	0.0007
Indio Boca de Uracillo	10/08/04	0.002	0.116	0.02	49.7	24.8	0.0047	0.0008
Indio Boca de Uracillo	11/17/04	0.002	0.044	0.022	23.1	42.3	0.0010	0.0005
Indio Boca de Uracillo	12/14/04	0.002	0.023	0.02	17.7	17.8	0.0013	0.0011
Indio Boca de Uracillo	01/18/05	0.002	0.116	0.02	27.7	12.9	0.0090	0.0016
Indio Boca de Uracillo	02/16/05	0.002	0.02	0.02	11.1	7.32	0.0027	0.0027
Indio Boca de Uracillo	03/31/05	0.002	0.005	0.02	5.18	4.61	0.0011	0.0043
Indio Boca de Uracillo	04/14/05	0.002	0.052	0.02	6.25	9.69	0.0054	0.0021
Indio Boca de Uracillo	05/05/05	0.005	0.347	0.02	16.9	11.8	0.0294	0.0017
Indio Boca de Uracillo	06/02/05	0.002	0.048	0.02	13.7	17.6	0.0027	0.0011
Indio Boca de Uracillo	07/13/05	0.002	0.007	0.02	20	18.7	0.0004	0.0011
Indio Boca de Uracillo	08/10/05	0.002	0.236	0.02	20.2	25.9	0.0091	0.0008
Indio Boca de Uracillo	09/12/05	0.002	0.099	0.02	20.5	29.5	0.0034	0.0007
Indio Boca de Uracillo	10/03/05	0.002	0.107	0.02	53.4	28.8	0.0037	0.0007
Indio Boca de Uracillo	11/14/05	0.003	0.177	0.02	32.2	21.9	0.0081	0.0009
Indio Boca de Uracillo	12/01/05	0.002	0.023	0.02	12.9	13	0.0018	0.0015

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

**Tabla 68: Datos de Nitrato y Fosfato del río Uracillo en la estación Las Marías**

Estación	Fecha	NO <sub>2</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	Caudal diario (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mensual (m <sup>3</sup> /s)	NO <sub>3</sub> /Qmen	PO <sub>4</sub> /Qmen
Las Marías	01/18/05	0.002	0.035	0.02	1.63	1.54	0.0227	0.0130
Las Marías	02/16/05	0.002	0.039	0.02	1.54	0.975	0.0400	0.0205
Las Marías	03/31/05	0.002	0.044	0.02	0.62	0.585	0.0752	0.0342
Las Marías	04/14/05	0.002	0.093	0.02	0.788	1.26	0.0738	0.0159
Las Marías	05/11/05	0.002	0.017	0.02	0.753	0.928	0.0183	0.0216
Las Marías	06/02/05	0.002	0.051	0.02	1.22	1.72	0.0297	0.0116
Las Marías	07/13/05	0.002	0.021	0.02	0.95	1.88	0.0112	0.0106
Las Marías	08/10/05	0.002	0.218	0.02	2.16	2.43	0.0897	0.0082
Las Marías	09/12/05	0.002	0.066	0.02	2.55	3.5	0.0189	0.0057
Las Marías	10/03/05	0.002	0.097	0.02	8.84	4.25	0.0228	0.0047
Las Marías	11/14/05	0.002	0.069	0.02	3.31	2.79	0.0247	0.0072
Las Marías	12/01/05	0.002	0.032	0.02	1.81	1.89	0.0169	0.0106

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

**Tabla 69: Datos de Nitrato y Fosfato del río Indio en la estación Tres Hermanas**

Estación	Fecha	NO <sub>2</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	Caudal diario (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mensual (m <sup>3</sup> /s)	NO <sub>3</sub> /Qmen	PO <sub>4</sub> /Qmen
Tres Hermanas	03/11/04	0.002	0.02	0.02	5.48	4.83	0.0041	0.0041
Tres Hermanas	04/13/04	0.002	0.013	0.02	2.45	5.73	0.0023	0.0035
Tres Hermanas	05/06/04	0.002	0.268	0.02	18.6	28.2	0.0095	0.0007
Tres Hermanas	06/04/04	0.002	0.045	0.02	16.8	14	0.0032	0.0014
Tres Hermanas	07/02/04	0.002	0.049	0.02	10.6	17.7	0.0028	0.0011
Tres Hermanas	08/11/04	0.002	0.108	0.02	22.5	31.1	0.0035	0.0006
Tres Hermanas	09/06/04	0.002	0.15	0.02	32.1	26.8	0.0056	0.0007
Tres Hermanas	10/08/04	0.002	0.114	0.02	51.9	40.1	0.0028	0.0005
Tres Hermanas	11/17/04	0.002	0.049	0.02	24.3	45.5	0.0011	0.0004
Tres Hermanas	12/14/04	0.002	0.031	0.02	18.5	18.9	0.0016	0.0011
Tres Hermanas	01/18/05	0.002	0.108	0.02	27.9	14	0.0077	0.0014
Tres Hermanas	02/16/05	0.002	0.021	0.02	11.6	7.98	0.0026	0.0025
Tres Hermanas	03/31/05	0.002	0.012	0.02	5.37	4.87	0.0025	0.0041
Tres Hermanas	04/14/05	0.002	0.072	0.02	7.22	11.6	0.0062	0.0017
Tres Hermanas	05/11/05	0.002	0.017	0.02	6.07	13.2	0.0013	0.0015
Tres Hermanas	06/02/05	0.002	0.075	0.02	17	19.5	0.0038	0.0010
Tres Hermanas	07/13/05	0.002	0.056	0.02	18.8	19.8	0.0028	0.0010
Tres Hermanas	08/10/05	0.002	0.226	0.02	20.7	28.5	0.0079	0.0007
Tres Hermanas	09/12/05	0.002	0.102	0.02	25.3	33	0.0031	0.0006
Tres Hermanas	10/03/05	000	0.118	0.02	55.6	31.9	0.0037	0.0006
Tres Hermanas	11/14/05	000	0.102	0.03	35.8	25.1	0.0041	0.0011
Tres Hermanas	12/01/05	0.002	0.045	0.02	14.4	14.3	0.0031	0.0014

Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas, 2003-2005.

De igual forma se utilizaron datos de muestreos realizados en las fuentes hídricas cercanas a los sitios poblados de la cuenca del río Indio, la cual sirvió para tener una mayor densidad de puntos para hacer un análisis espacial de los datos mediante la interpolación de los puntos. En Tabla 70 se presentan los datos utilizados y en la Figura 24 se incluye la ubicación de los puntos dentro de la cuenca.

**Tabla 70: Concentraciones de Nitrato (mg/l) en sitios poblados de la cuenca del río Indio**

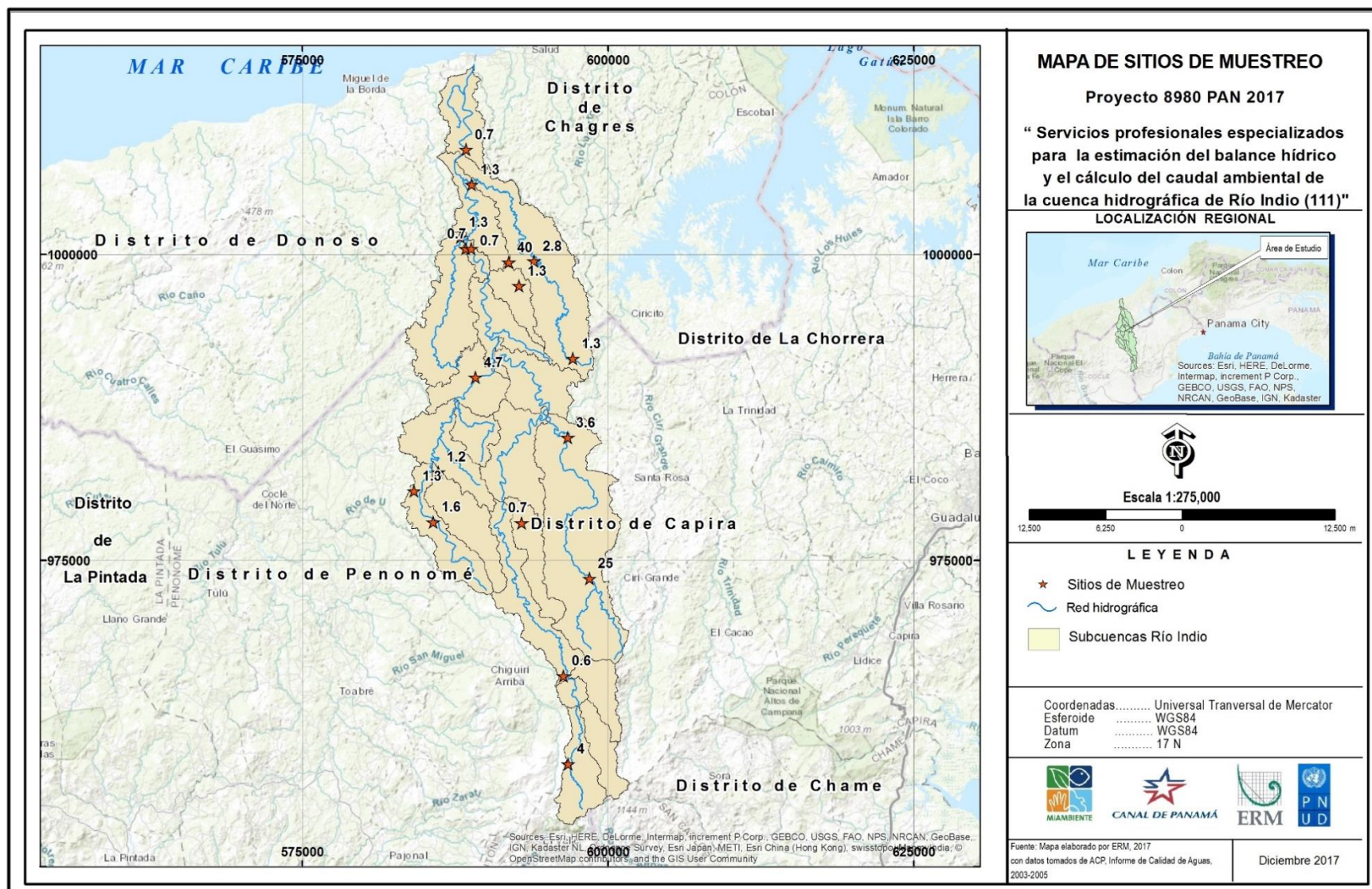
Punto	Lugar Poblado	Fuente Hídrica	Concentración de Nitrato (mg/l)
1	ALTO DE URACILLO	Río Uracillo	1.7
2	ALTOS DE LOS NARANJO	Río Teria	0.025*
3	BARRIO UNIDO	Río Indio	0.6
4	EL CHILAR	Río Indio	0.7
5	EL JOBO	Río Indio	0.7
6	GUAYABALITO	Río El Jobo	1.3
7	JORDANAL	Río Jordanal	0
8	LA ENCANTADA	Río La Encantada	1.3

9	LAS CRUCES	Río La Encantada	2.8
10	LAS MARIAS	Río Las Marías	1.2
11	EL CASTILLO	Río La Encantada	0.040*
12	LOS CEDROS	Río Uracillo	1.3
13	LOS OLIVOS	Qbda. SN (Afluente río La Encantada)	0.040*
14	LOS UVEROS	Qbda. Del Hinojal	0.6
15	PUEBLO NUEVO	Río Uracillo	4.7
16	PUEBLO VIEJO - PUNTA MA	Río El Cano	0.012
17	QUEBRADA BONITA	Qbda. Bonita	0.7
18	RIO INDIO ARRIBA	Río Indio	4
19	RIO INDIO DE LOS CHORRO	Río Indio	2
20	SANTA ROSA	Río Indio	0.7
21	TERIA	Río Teria	0.025*
22	TRES HERMANAS	Río Teria	3.6
23	URACILLO CENTRO	Río Uracillo	1.6
24	BARRIADA SAN ANTONIO	**	3.9
25	VALLECITO	Río Indio	2.1

\* Valores ajustados a mg/l ya que en la fuente de información estos fueron reportados como ug/l.

\*\*Ubicación desconocida. Fuente: ACP, Informe de Calidad de Aguas





Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 24: Sitios de muestreo de Nitrato en sitios poblados de la cuenca del río Indio

Para distribuir las concentraciones de nitratos espacialmente en la cuenca de río Indio, se implementó el método de interpolación de IDW (El inverso de la distancia al cuadrado). Este método IDW relaciona variables entre puntos, donde aquellos que estén más cercanos tendrán valores más parecidos que aquellos que estén distantes. En la Figura 25 se muestra el mapa de concentraciones de nitratos para las diferentes subcuencas que forman parte del análisis de la cuenca de río Indio.

Para la elaboración del Mapa de concentraciones de los Fosfatos (mg/l), se utilizaron los datos de las tablas 67 a 69 para relacionar los Nitratos y Fosfatos utilizando un factor de relación entre ambos parámetros ( $\text{PO}_4/\text{NO}_3$ ), obteniendo un valor de 0.79. En el Anexo 4 se presentan las concentraciones promedio mensuales y anuales en las diferentes subcuencas del río Indio.

Fuente: ERM, diciembre 2017

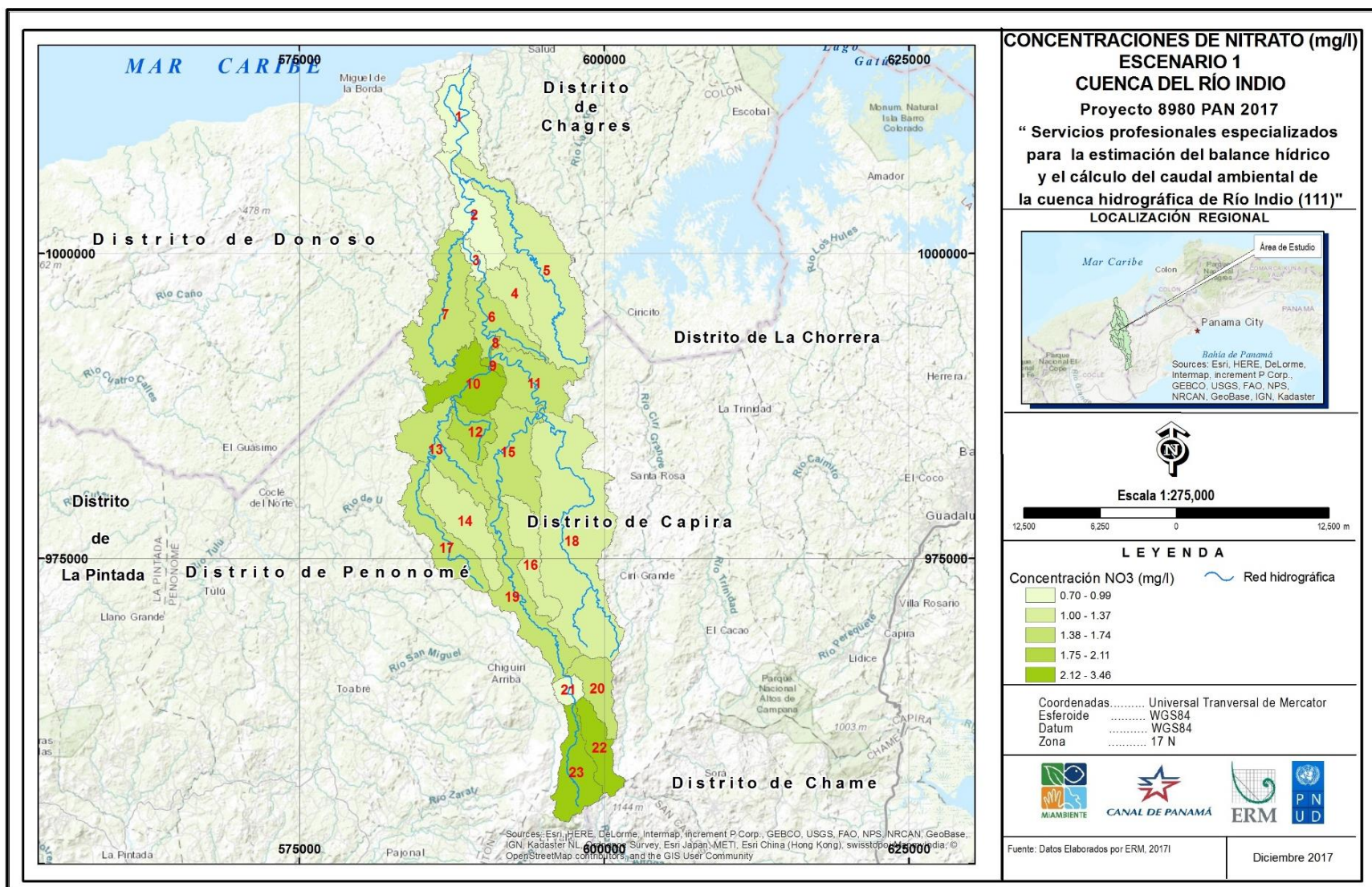
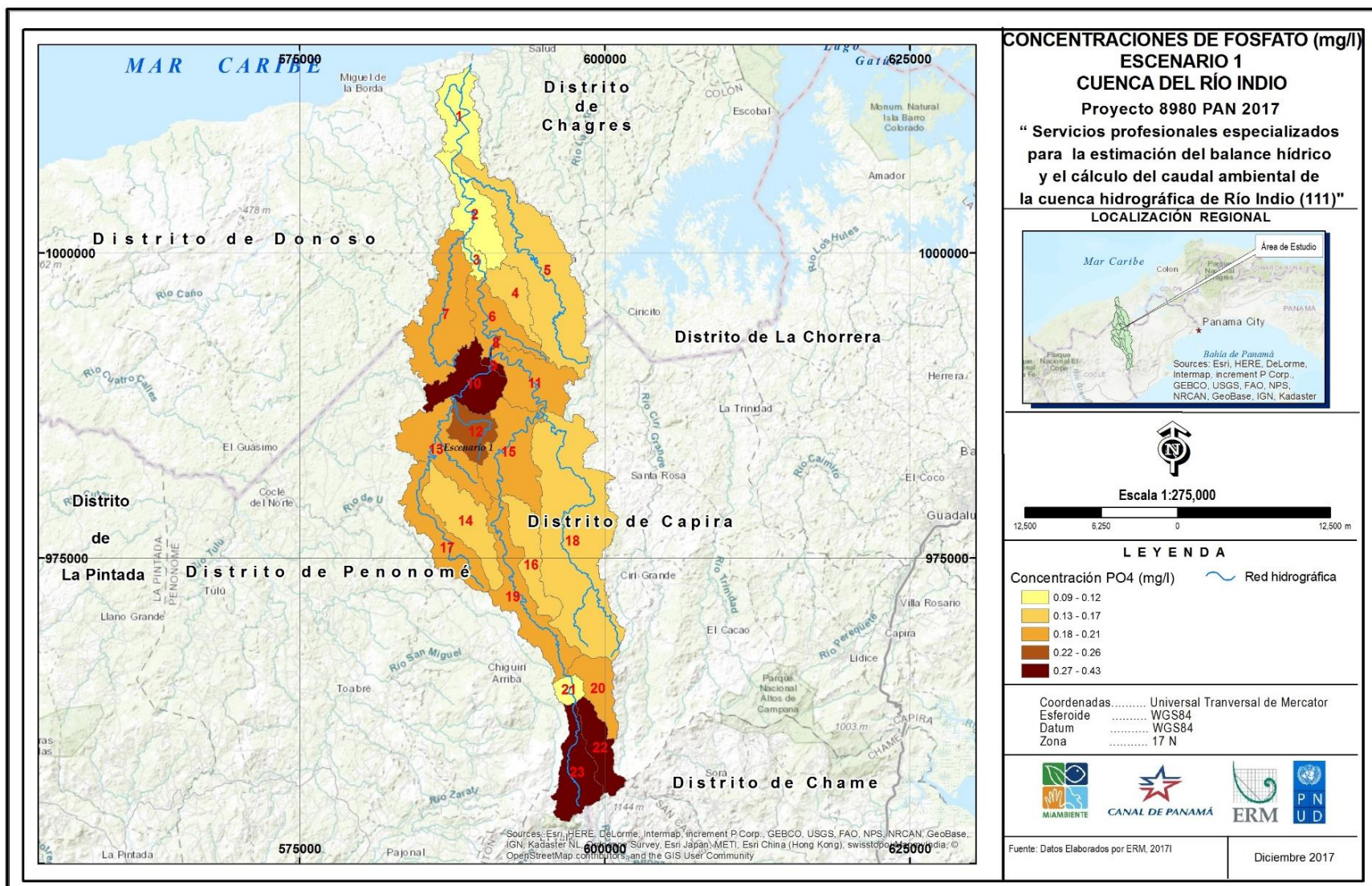


Figura 25: Mapa de Concentraciones de Nitrato de la cuenca del río Indio - Escenario No. 1



Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 26: Mapa de Concentraciones de Fosfato de la cuenca del río Indio

## 8. RESULTADOS: ESCENARIO NO. 2

Para el Escenario 2 se consideraron criterios hidrobiológicos y sociales proyectados como parte de la demanda hídrica en la cuenca de río Indio. Estas demandas fueron estimadas en función de proyecciones considerando los siguientes aspectos:

- Criterios hidrobiológicos.
  - caudales mínimos requeridos para la especie bandera identificada en las subcuencas de río Indio. Para este estudio se utilizó la especie *Agonostomus monticola* con un caudal mínimo estimado de 0.7 m<sup>3</sup>/s (ver anexo 3 para más detalles sobre la especie bandera con mayores demandas de agua).
- Criterios Sociales.
  - Población: Proyecciones en usos productivos.
  - Abastecimiento para el consumo humano.
  - Proyecciones por irrigación.

Se tomó como referencia la demanda en función de los consumos originales y se aplicaron factores (p.ej., factor de 2) de crecimiento en función del desarrollo de la zona en los diferentes sectores socioeconómicos descritos en la sección 4.1 de este estudio. En la Tabla 71 se presentan las demandas originales y proyectadas para el Escenario 2.

**Tabla 71: Demandas de agua proyectadas para la cuenca del río Indio bajo el Escenario No. 2.**

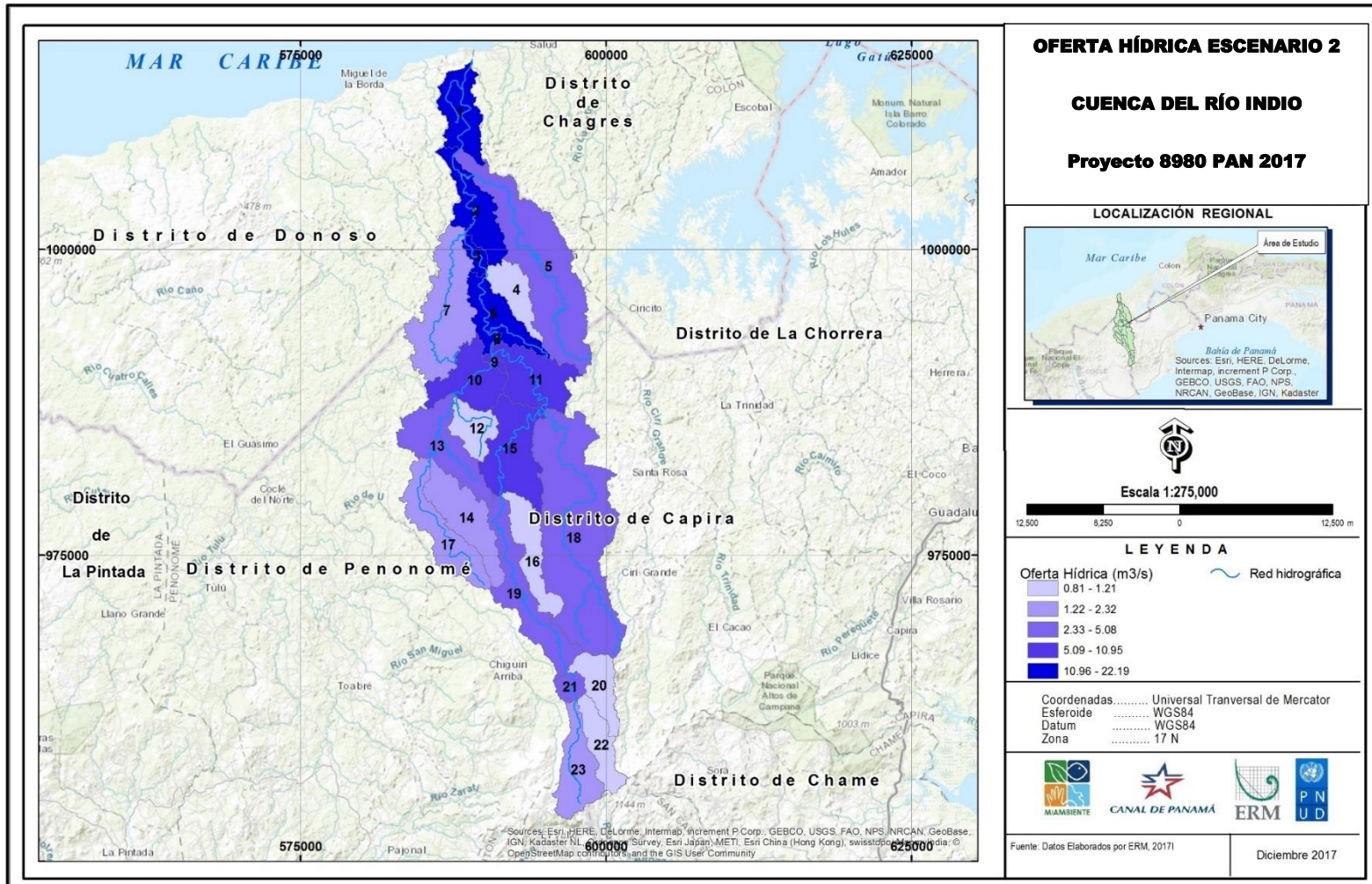
Sector	Demanda Proyectada al 2050 (Mm <sup>3</sup> )	Descripción de las condiciones consideradas de demanda
Especie Bandera	2.0	Valor Estimado para <i>Agonostomus monticola</i> (ver sección 4.2.3)
Pecuario	1.24	Se utilizaron valores de cabezas de ganado de datos estadísticos

Sector	Demanda Proyectada al 2050 (Mm <sup>3</sup> )	Descripción de las condiciones consideradas de demanda
		del censo de contraloría entre el 1999 y 2014. Considerando esta información se determinó un factor correspondiente al 1.38
Consumo Humano	0.81	Se utilizó un factor de 2 para determinar la demanda proyectada de acuerdo al análisis de consumo humano basados en datos correspondientes de crecimiento entre el 2010 y el 2017 (ver sección 4.1 para mayores detalles)
Irrigación	126.12	Se consideraron las demandas de agua para el riego de los cultivos de café y arroz; así como también que el área de cultivo actual (de aproximadamente 25 km <sup>2</sup> ) podría duplicarse para el 2050.

Mm<sup>3</sup> = millones de metros cúbicos

En las siguientes tablas y figuras, se presentan los resultados obtenidos para el Escenario 2. Se incluyen valores espaciales en las 23 subcuencas referente a la demanda hídrica, disponibilidad, índice de escasez. También, la distribución espacial de nitratos y fosfatos estimada al Escenario 2 considerando los cambios de caudal.

Figura 27: Distribución de la oferta hídrica promedio en la cuenca del río Indio (Escenario No. 2)



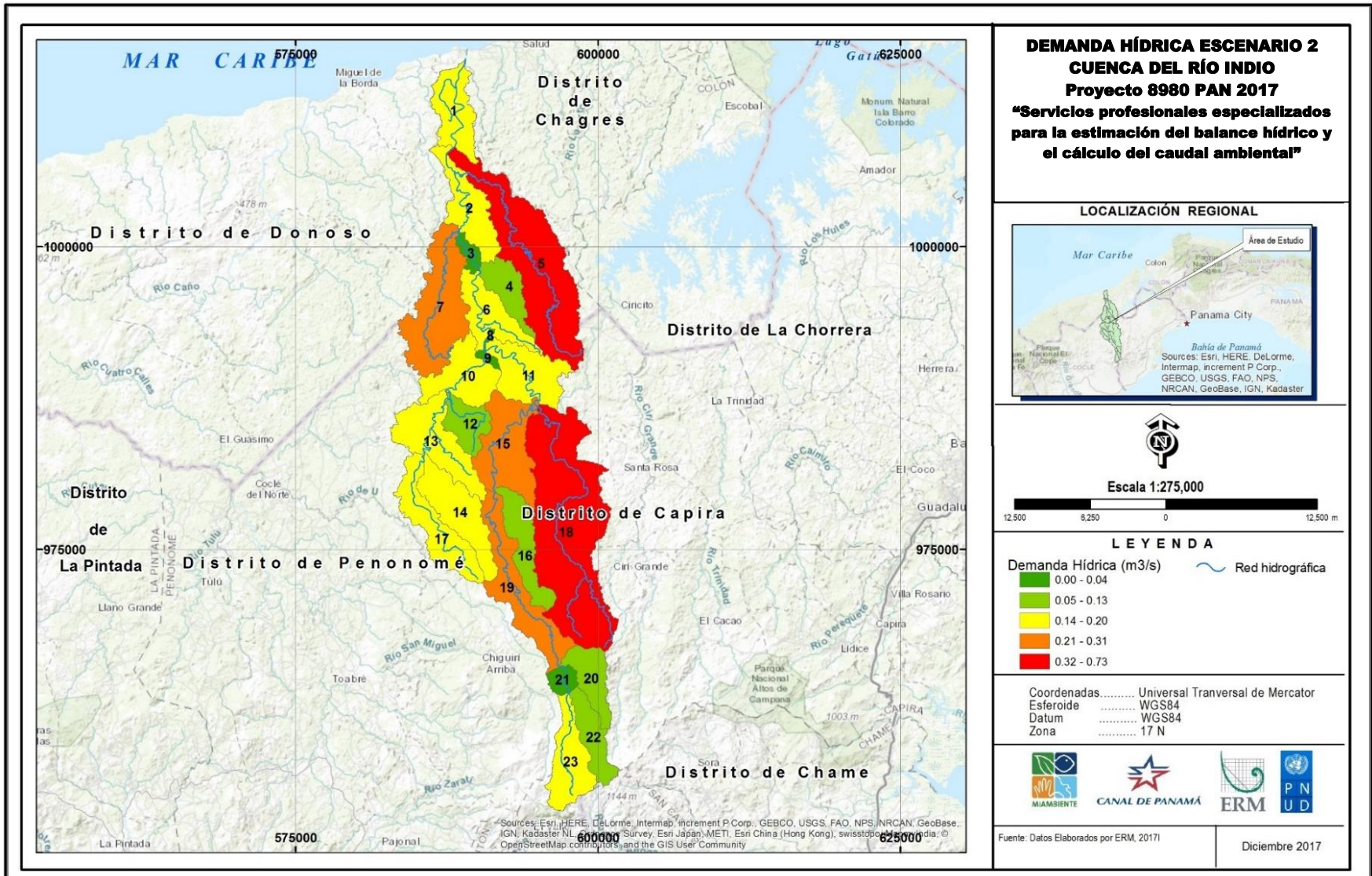
Fuente: ERM, diciembre 2017

**Tabla 72: Oferta hídrica mensual promedio por subcuenca para la cuenca del de río Indio (m³/s) bajo el Escenario No. 2.**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sepe	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	13.7	4.60	1.82	5.06	22.68	26.15	22.84	25.36	24.75	38.31	46.76	32.94	22.08
2	12.46	4.66	2.18	5.30	20.56	23.53	20.71	22.75	22.31	33.60	40.96	29.16	19.85
3	11.68	4.66	2.41	5.43	18.68	21.14	18.72	20.37	20.05	29.75	36.25	26.00	17.93
4	0.54	0.32	0.25	0.35	0.87	0.94	0.87	0.96	0.94	1.23	1.35	1.03	0.80
5	2.27	1.04	0.66	1.14	3.43	3.87	3.44	3.92	3.79	5.37	6.15	4.58	3.31
6	11.65	4.79	2.62	5.57	18.47	20.81	18.50	20.04	19.77	29.03	35.25	25.38	17.66
7	1.50	0.77	0.55	0.86	2.43	2.72	2.47	2.76	2.69	3.67	4.14	3.12	2.31
8	11.65	5.05	2.96	5.79	18.28	20.45	18.28	19.71	19.47	28.27	34.09	24.65	17.39
9	4.58	2.54	1.83	2.86	7.49	7.96	7.21	7.79	7.69	10.46	12.59	8.94	6.83
10	4.64	2.62	1.92	2.93	7.56	8.01	7.27	7.85	7.75	10.48	12.57	8.96	6.88
11	7.35	2.77	1.38	3.20	11.21	12.89	11.49	12.34	12.21	18.11	21.84	16.04	10.90
12	0.59	0.37	0.30	0.40	0.95	1.00	0.93	0.99	0.98	1.27	1.50	1.08	0.86
13	3.45	2.01	1.51	2.25	5.62	5.88	5.34	5.71	5.68	7.59	9.19	6.51	5.06
14	1.23	0.76	0.61	0.84	1.99	2.06	1.89	2.01	2.00	2.61	3.10	2.23	1.78
15	4.79	2.06	1.18	2.44	7.55	8.48	7.68	8.07	8.05	11.43	13.52	10.12	7.11
16	0.61	0.32	0.24	0.33	0.86	0.95	0.89	0.95	0.95	1.26	1.47	1.12	0.83
17	1.17	0.70	0.54	0.77	1.87	1.96	1.79	1.91	1.90	2.51	3.02	2.16	1.69
18	2.56	1.04	0.62	1.13	3.74	4.29	3.89	4.19	4.16	6.01	7.25	5.37	3.69
19	3.43	1.51	0.92	1.79	5.29	5.97	5.49	5.70	5.71	7.88	9.04	7.09	4.99
20	0.80	0.44	0.33	0.53	1.36	1.47	1.37	1.41	1.42	1.82	1.98	1.57	1.21
21	2.21	1.19	0.87	1.39	3.51	3.83	3.60	3.69	3.70	4.81	5.30	4.28	3.20
22	0.82	0.47	0.36	0.54	1.31	1.42	1.34	1.37	1.38	1.76	1.92	1.54	1.18
23	1.19	0.66	0.48	0.76	1.90	2.06	1.94	1.99	2.00	2.59	2.85	2.30	1.73

Fuente: ERM, octubre 2017





Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 28: Demanda hídrica de la cuenca del río Indio para el Escenario No. 2

**Tabla 73: Demanda hídrica mensual promedio por subcuenca para la cuenca del de río Indio (m³/s) para el Escenario 2**

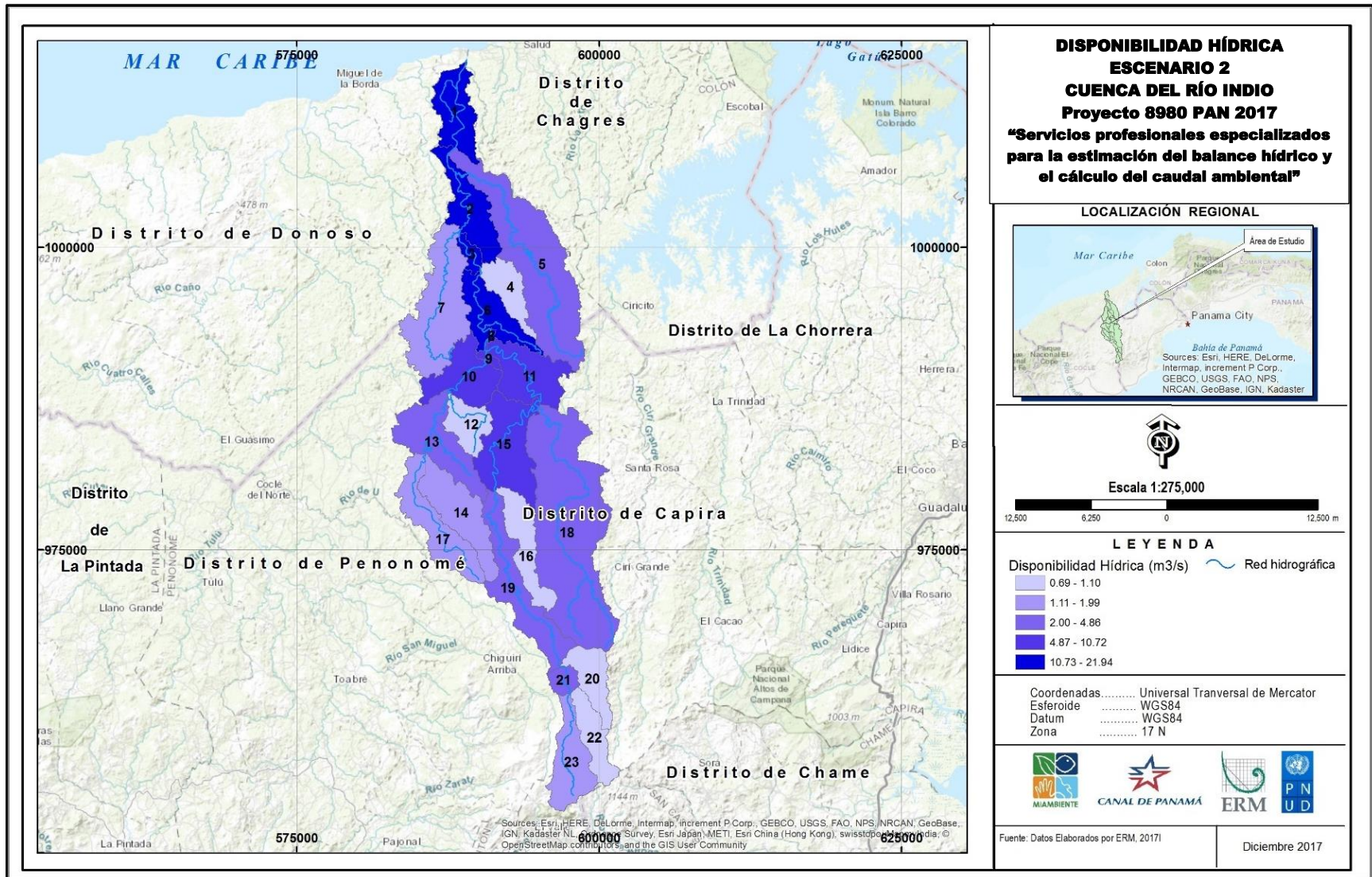
Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	0.22	0.24	0.22	0.23	0.16	0.16	0.10	0.04	0.05	0.04	0.10	0.16	0.14
2	0.24	0.27	0.24	0.25	0.17	0.17	0.11	0.05	0.05	0.05	0.11	0.17	0.16
3	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03
4	0.14	0.16	0.14	0.15	0.10	0.10	0.06	0.03	0.03	0.03	0.07	0.10	0.09
5	0.75	0.83	0.75	0.78	0.53	0.55	0.34	0.15	0.16	0.15	0.35	0.53	0.49
6	0.22	0.24	0.22	0.23	0.15	0.16	0.10	0.04	0.05	0.04	0.10	0.15	0.14
7	0.47	0.52	0.47	0.49	0.33	0.34	0.21	0.10	0.10	0.10	0.22	0.33	0.31
8	0.005	0.01	0.005	0.005	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003
9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.004	0.004	0.004	0.01	0.01	0.01
10	0.24	0.27	0.24	0.25	0.17	0.18	0.11	0.05	0.05	0.05	0.11	0.17	0.16
11	0.27	0.30	0.27	0.28	0.19	0.20	0.12	0.05	0.06	0.05	0.13	0.19	0.18
12	0.14	0.15	0.14	0.14	0.10	0.10	0.06	0.03	0.03	0.03	0.06	0.10	0.09
13	0.31	0.34	0.31	0.32	0.22	0.22	0.14	0.06	0.06	0.06	0.14	0.22	0.20
14	0.28	0.31	0.28	0.29	0.20	0.21	0.13	0.06	0.06	0.06	0.13	0.20	0.18
15	0.36	0.40	0.36	0.37	0.25	0.26	0.16	0.07	0.07	0.07	0.17	0.25	0.23
16	0.20	0.22	0.20	0.21	0.14	0.15	0.09	0.04	0.04	0.04	0.09	0.14	0.13
17	0.28	0.32	0.28	0.29	0.20	0.21	0.13	0.06	0.06	0.06	0.13	0.20	0.19
18	1.09	1.21	1.09	1.13	0.77	0.79	0.49	0.22	0.23	0.22	0.51	0.77	0.71
19	0.36	0.40	0.36	0.37	0.25	0.26	0.16	0.07	0.07	0.07	0.17	0.25	0.23
20	0.16	0.17	0.16	0.16	0.11	0.11	0.07	0.03	0.03	0.03	0.07	0.11	0.10
21	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03
22	0.15	0.17	0.15	0.16	0.11	0.11	0.07	0.03	0.03	0.03	0.07	0.11	0.10
23	0.24	0.26	0.24	0.24	0.17	0.17	0.11	0.05	0.05	0.05	0.11	0.17	0.15

Fuente: ERM, octubre 2017

**Tabla 74:** *Demanda y oferta promedio anual de la cuenca de río Indio (Escenario 2)*

<b>Subcuenca</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Oferta (m<sup>3</sup>/s)</b>
1	0.14	22.08
2	0.16	19.85
3	0.03	17.93
4	0.09	0.80
5	0.49	3.31
6	0.14	17.66
7	0.31	2.31
8	0.003	17.39
9	0.01	6.83
10	0.16	6.88
11	0.18	10.90
12	0.09	0.86
13	0.20	5.06
14	0.18	1.78
15	0.23	7.11
16	0.13	0.83
17	0.19	1.69
18	0.71	3.69
19	0.23	4.99
20	0.10	1.21
21	0.03	3.20
22	0.10	1.18
23	0.15	1.73

Fuente: ERM, diciembre 2017



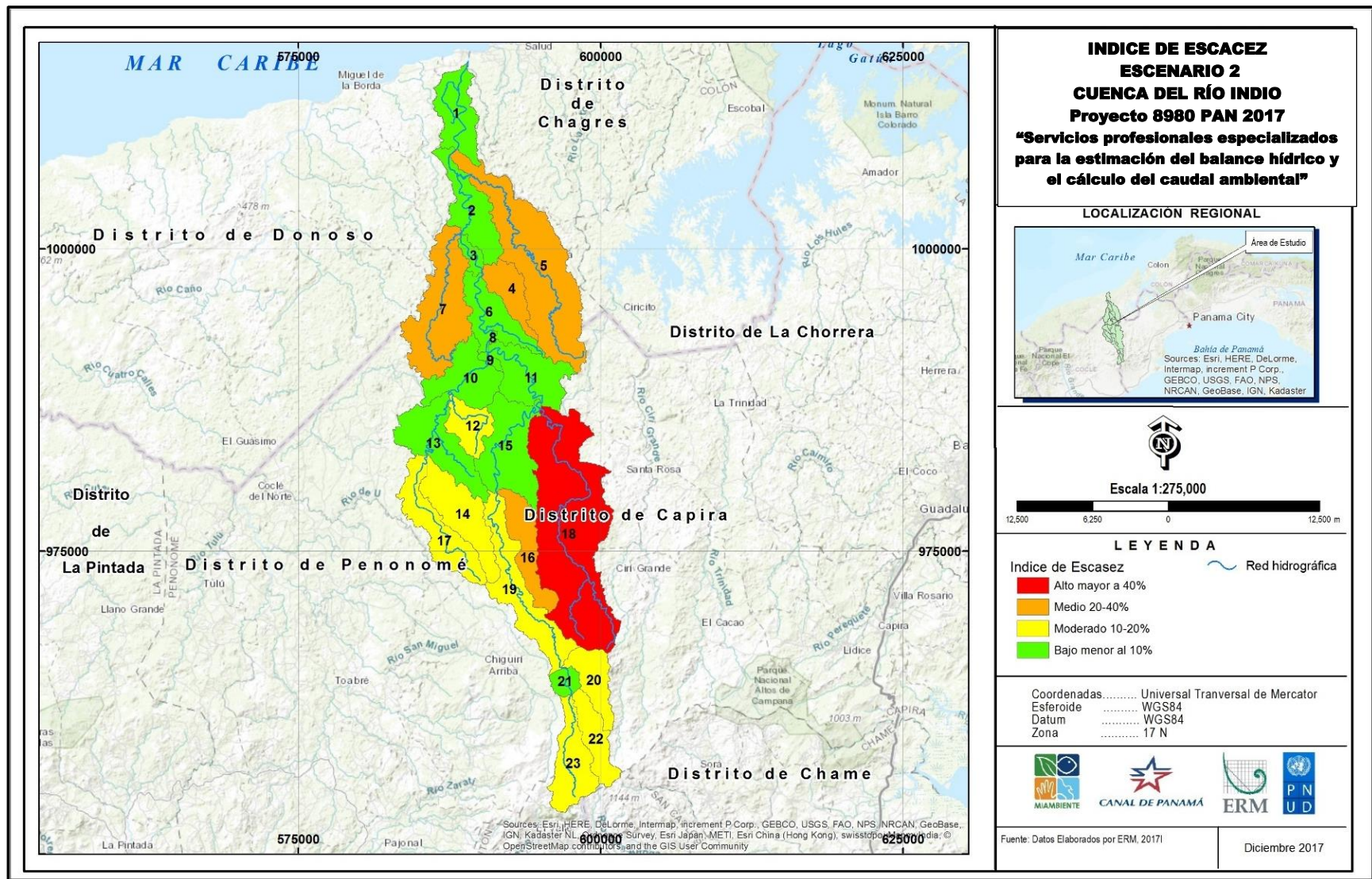
Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 29: Disponibilidad hídrica de la cuenca del río Indio-Escenario No. 2

**Tabla 75: Disponibilidad hídrica mensual promedio por subcuenca para la cuenca de río Indio (m³/s) para el Escenario No. 2.**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	13.50	4.36	1.60	4.84	22.53	25.99	22.74	25.32	24.70	38.27	46.65	32.79	21.94
2	12.22	4.40	1.94	5.05	20.39	23.35	20.61	22.70	22.26	33.55	40.85	28.99	19.69
3	11.64	4.61	2.36	5.39	18.65	21.11	18.70	20.36	20.04	29.74	36.23	25.97	17.90
4	0.40	0.16	0.11	0.20	0.77	0.84	0.80	0.93	0.91	1.20	1.28	0.93	0.71
5	1.52	0.21	0.00	0.37	2.90	3.32	3.10	3.77	3.63	5.22	5.80	4.05	2.82
6	11.43	4.55	2.40	5.34	18.32	20.65	18.40	20.00	19.72	28.99	35.15	25.23	17.52
7	1.03	0.24	0.08	0.38	2.10	2.38	2.26	2.67	2.59	3.57	3.92	2.78	2.00
8	11.65	5.04	2.96	5.78	18.27	20.45	18.28	19.70	19.47	28.27	34.09	24.65	17.38
9	4.56	2.52	1.81	2.84	7.48	7.95	7.20	7.78	7.68	10.46	12.58	8.93	6.82
10	4.40	2.35	1.68	2.68	7.39	7.84	7.16	7.80	7.70	10.43	12.46	8.79	6.72
11	7.08	2.48	1.11	2.92	11.02	12.69	11.36	12.28	12.16	18.06	21.71	15.85	10.73
12	0.45	0.21	0.16	0.25	0.85	0.90	0.87	0.96	0.95	1.24	1.44	0.98	0.77
13	3.14	1.67	1.20	1.93	5.40	5.66	5.20	5.65	5.62	7.53	9.04	6.30	4.86
14	0.95	0.45	0.32	0.55	1.79	1.85	1.76	1.96	1.94	2.55	2.97	2.03	1.59
15	4.43	1.67	0.82	2.07	7.30	8.22	7.52	8.00	7.98	11.36	13.36	9.87	6.88
16	0.40	0.10	0.03	0.12	0.72	0.80	0.80	0.91	0.90	1.22	1.37	0.98	0.70
17	0.89	0.39	0.25	0.48	1.67	1.75	1.66	1.85	1.84	2.45	2.89	1.96	1.51
18	1.47	0.00	0.00	0.00	2.97	3.50	3.39	3.97	3.93	5.79	6.74	4.61	2.98
19	3.07	1.11	0.56	1.42	5.04	5.71	5.33	5.62	5.63	7.81	8.87	6.83	4.75
20	0.64	0.26	0.17	0.37	1.25	1.36	1.30	1.38	1.38	1.79	1.91	1.46	1.11
21	2.15	1.14	0.82	1.34	3.47	3.80	3.57	3.68	3.69	4.80	5.28	4.24	3.16
22	0.66	0.30	0.21	0.38	1.20	1.31	1.27	1.34	1.35	1.73	1.85	1.43	1.08
23	0.96	0.39	0.25	0.52	1.73	1.89	1.83	1.94	1.95	2.54	2.74	2.13	1.57

Fuente: ERM, octubre 2017



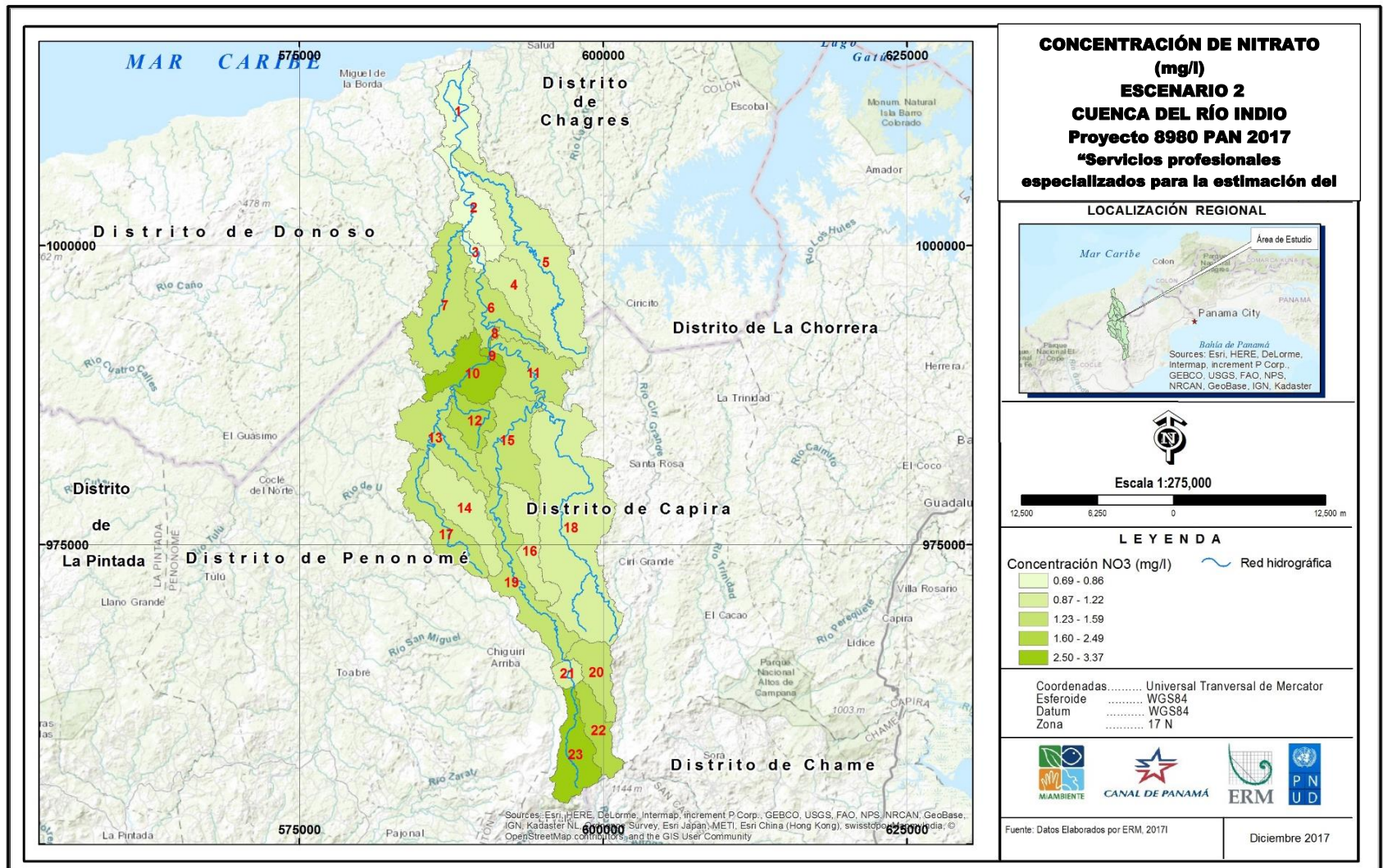
Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 30: Índice de escasez de la cuenca del río Indio para el Escenario No. 2

**Tabla 76: Índice de escasez mensual promedio por subcuenca para la cuenca de río Indio (%) bajo el Escenario No. 2.**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sepe	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1	1.61	5.31	12.14	4.51	0.68	0.61	0.44	0.18	0.19	0.12	0.22	0.47	2.21
2	1.93	5.71	11.04	4.69	0.82	0.74	0.52	0.21	0.22	0.14	0.27	0.58	2.24
3	0.37	1.03	1.80	0.82	0.16	0.15	0.10	0.04	0.04	0.03	0.06	0.12	0.39
4	26.26	49.56	56.09	42.19	11.57	11.01	7.43	2.99	3.16	2.34	4.94	9.75	18.94
5	33.13	79.78	100.00	67.89	15.38	14.09	9.86	3.85	4.12	2.81	5.70	11.52	29.01
6	1.87	5.04	8.33	4.05	0.83	0.76	0.53	0.22	0.23	0.15	0.29	0.60	1.91
7	31.43	68.25	86.28	56.54	13.66	12.63	8.64	3.44	3.66	2.59	5.33	10.67	25.26
8	0.04	0.10	0.16	0.08	0.02	0.02	0.01	0.005	0.005	0.003	0.01	0.01	0.04
9	0.38	0.77	0.96	0.64	0.16	0.16	0.11	0.05	0.05	0.03	0.07	0.14	0.29
10	5.21	10.23	12.58	8.52	2.25	2.19	1.50	0.62	0.65	0.46	0.90	1.90	3.92
11	3.67	10.78	19.57	8.74	1.69	1.52	1.06	0.44	0.46	0.30	0.58	1.18	4.17
12	23.43	42.11	47.12	36.24	10.31	10.14	6.76	2.83	2.96	2.21	4.32	9.08	16.46
13	8.93	16.95	20.39	14.14	3.86	3.81	2.61	1.09	1.13	0.82	1.57	3.33	6.55
14	23.00	41.30	46.83	34.79	10.04	10.00	6.79	2.83	2.94	2.19	4.27	8.95	16.16
15	7.47	19.20	30.31	15.16	3.33	3.06	2.10	0.89	0.92	0.63	1.23	2.48	7.23
16	33.54	69.43	86.11	63.37	16.62	15.51	10.29	4.31	4.46	3.24	6.45	12.69	27.17
17	24.31	45.00	52.78	38.05	10.67	10.54	7.19	3.00	3.11	2.28	4.39	9.25	17.55
18	42.70	100.00	100.00	100.00	20.54	18.49	12.71	5.24	5.46	3.66	7.05	14.30	35.84
19	10.53	26.50	39.10	20.80	4.79	4.39	2.97	1.27	1.31	0.92	1.86	3.58	9.83
20	19.58	39.72	47.40	30.50	8.12	7.75	5.16	2.24	2.30	1.73	3.70	7.02	14.60
21	2.40	4.91	6.09	3.93	1.06	1.00	0.67	0.29	0.30	0.22	0.47	0.87	1.85
22	18.86	36.35	42.57	29.61	8.27	7.88	5.22	2.27	2.33	1.76	3.75	7.04	13.83
23	19.85	39.94	48.91	32.08	8.78	8.33	5.52	2.39	2.46	1.84	3.89	7.25	15.10

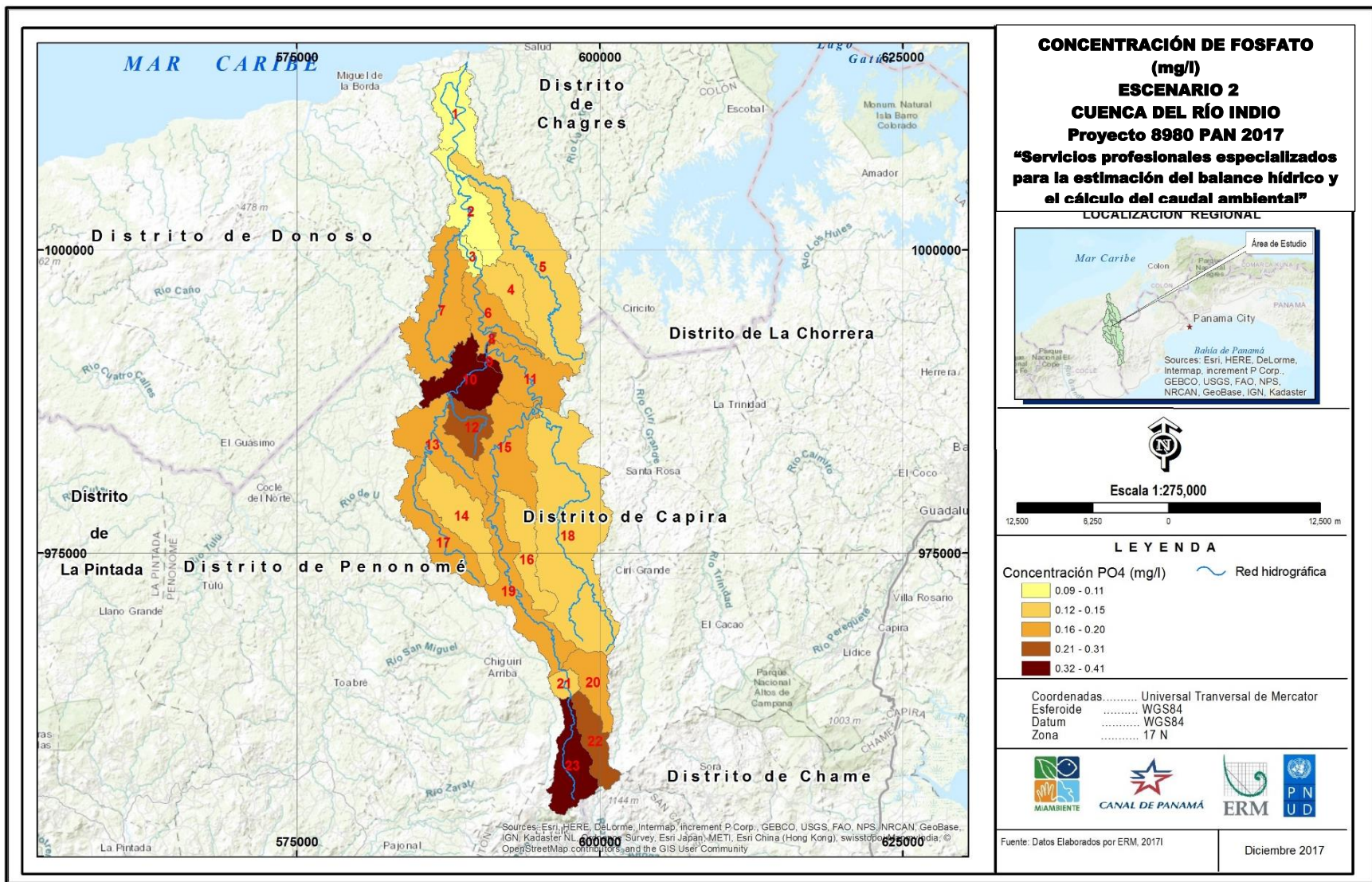
Fuente: ERM, octubre 2017



Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 31: Mapa de Concentraciones de Nitrato de la cuenca del río Indio – Escenario No. 2**



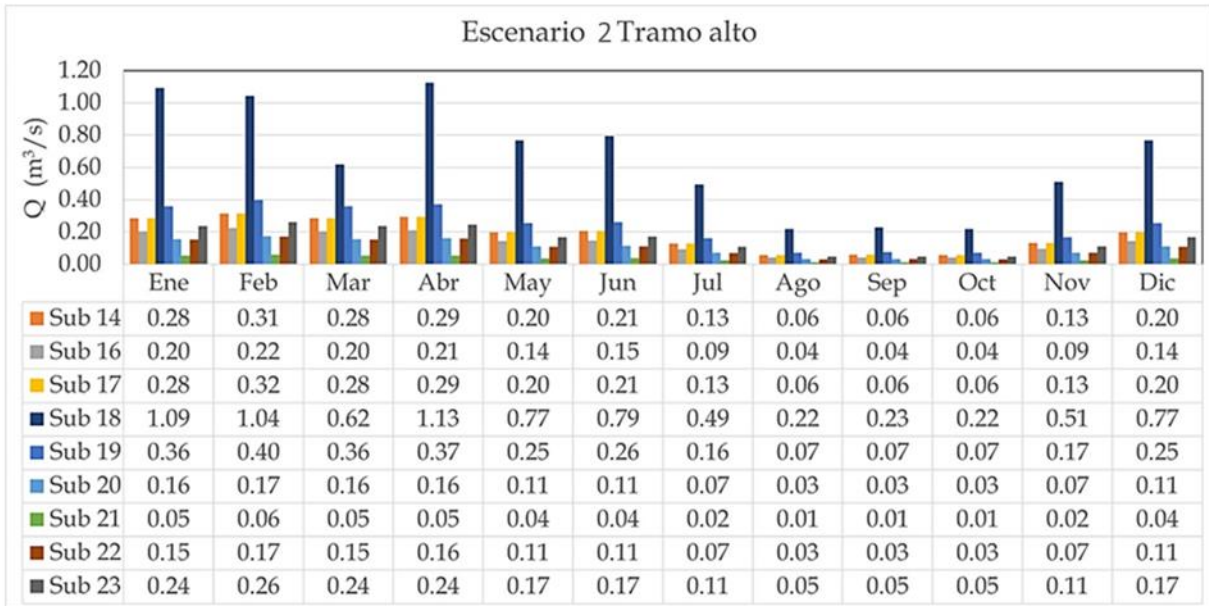


Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 32: Mapa de Concentraciones de Fosfato de la cuenca del río Indio para el Escenario No. 2

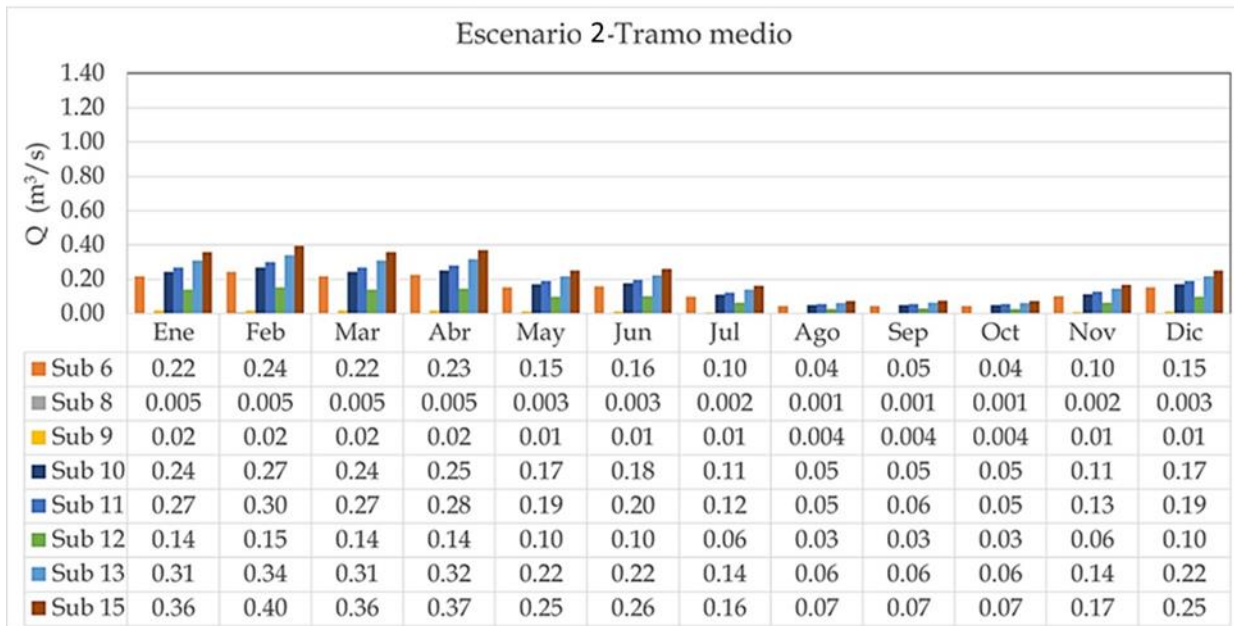
## 8.1 CUMPLIMIENTO CON DEMANDAS HÍDRICAS – ESCENARIO 2

Los resultados obtenidos del análisis correspondiente al Escenario 2 indican que en su mayoría las demandas de agua proyectadas para el 2050 serían cubiertas por la oferta hídrica de río Indio. Sin embargo, las subcuencas 5 (La Encantada) y 18 (Santa Rosa) no tendrían suficiente agua para cumplir las necesidades hídricas proyectadas para el 2050 durante los meses secos (entre febrero y abril). Considerando los criterios proyectados de demandas hídricas y los resultados obtenidos, se recomiendan los caudales ambientales por mes que se presentan en las figuras 33, 34 y 35. En estas tres figuras se dividen las 23 subcuencas, por tramos alto, medio y bajo de la cuenca de río Indio.



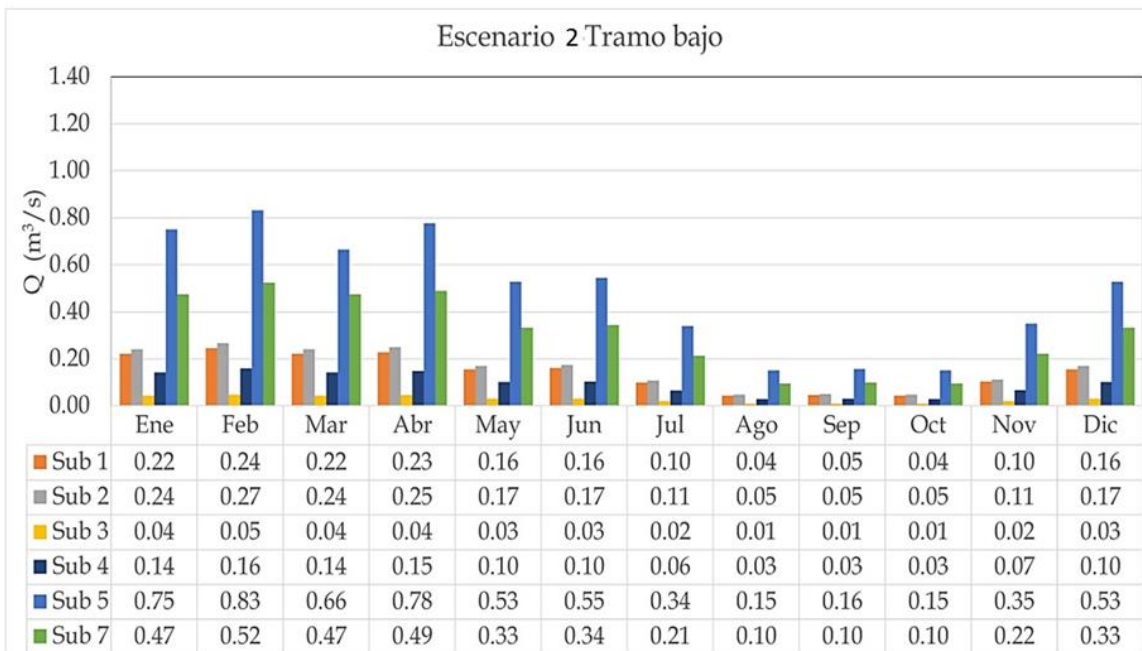
Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 33: Caudales ambientales por mes para las subcuencas del tramo alto de río Indio**



Fuente: ERM, diciembre 2017

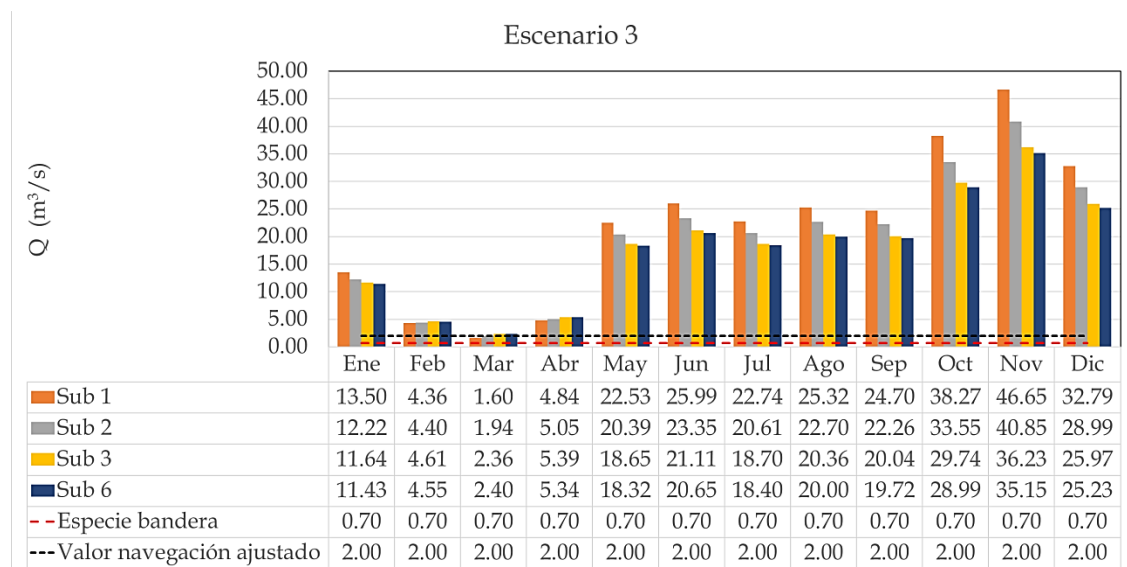
**Figura 34: Caudales ambientales por mes para las subcuencas del tramo medio de río Indio**



Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 35: Caudales ambientales por mes para las subcuencas del tramo bajo de río Indio**

Con esta información y conociendo la disponibilidad de agua estimada para la cuenca de río Indio bajo las condiciones del Escenario 2, se compararon los caudales (disponibilidad) de las subcuencas 1 (Boca de río Indio),2 (Guasimo),3 (Guayabalito) y 6 (Dominical) ubicadas aguas debajo de área propuesta de reducción de caudal (ubicado en la parte media de la subcuenca 6- Dominical) con los requerimientos mínimos de navegación ajustados de 2 m<sup>3</sup>/s y especie bandera de 0.7 m<sup>3</sup>/s. En la Figura 36 se presenta esta comparación por mes mostrando en su mayoría el cumplimiento de los caudales mínimos requeridos para navegación y la especie bandera estimados para este estudio.



Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 36: Comparación entre caudales estimados para el Escenario 2 y los mínimos requeridos estimados para la especie bandera y navegación ajustado**

## 9. CONCLUSIONES

A pesar de las limitaciones sobre la densidad de información dentro de la cuenca de río Indio, se generó y calibró (a un nivel confiable) el modelo hidrológico, el cual sirvió para determinar diferentes cálculos hidrológicos de la cuenca de río Indio y generar series temporales de caudales en 23 subcuencas. Se utilizaron los resultados del modelo hidrológico SWAT para determinar caudales ambientales utilizando métodos hidrológicos y demanda hídricas de los sectores socioeconómicos y biológicos (*A. monticola*) de la cuenca de río Indio. Se utilizaron valores diarios generados del modelo hidrológico correspondiente al periodo 2000-2015 como base para estimar el balance hídrico de la cuenca de río Indio. Los resultados obtenidos del balance hídrico indican que el 36 % de la precipitación se evapotranspira, el 39 % corresponde al flujo lateral, el 15 % es la contribución de agua subterránea al flujo base y el 10 % es la escorrentía superficial.

Se actualizaron los distintos valores hidrológicos para la gestión hídrica tales como oferta, disponibilidad hídrica e índice de escasez. Los resultados obtenidos, considerando el periodo 2000-2015 (Escenario 1), indican que las subcuencas 5 (La Encantada), 7 (Castillito), 16 (Las Marías Arriba) y 18 (Santa Rosa) presentan un índice de escasez anual moderado; y el resto de las subcuencas presentan un índice de escasez bajo. Estos resultados reflejan la alta disponibilidad hídrica de la cuenca del río Indio bajo condiciones existentes.

Considerando la información recopilada de requerimientos hídricos de los sectores socioeconómicos e hidrobiológicos de la cuenca de río Indio, se calculó para cada una de las 23 subcuencas la demanda hídrica. Además, se utilizaron dos métodos hidrológicos, Q95 % y 7Q10, para estimar los caudales mínimos necesarios para las 23 subcuencas. La Tabla 77 presenta un resumen de los valores estimados de caudal ambiental por subcuenca de acuerdo a los resultados

obtenidos en este estudio junto con resultados de métodos hidrológicos estadísticos de caudales mínimos. Basándose en estos resultados, se sugiere que el caudal ambiental para la cuenca de río Indio debería oscilar entre el 15 % y 27 % del caudal promedio anual dependiendo la subcuenca. Para determinar el valor óptimo, se debe considerar los valores indicados en la figura 36, con especial atención en los más secos del año.

**Tabla 77:** *Resumen de caudales ambientales recomendados por subcuenca*

Subcuenca	Nombre	7Q10	Q95%	Escenario 2
		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	Q amb (m <sup>3</sup> /s)
1	Boca de río Indio	1.567	0.419	0.144
2	Guácimo	2.044	0.771	0.156
3	Guayabalito	1.743	0.624	0.028
4	La Puerca	0.253	0.220	0.093
5	La Encantada	1.387	1.196	0.488
6	Dominical	2.369	1.484	0.142
7	Castillito	0.839	0.726	0.307
8	El Jobo	2.340	1.402	0.003
9	Barnizal	1.622	1.350	0.011
10	Las Minas	1.980	1.715	0.157
11	Los Cedros	1.406	0.731	0.176
12	Tres Hermanas	0.293	0.259	0.090
13	El Jobo Arriba	1.669	1.460	0.200
14	El Silencio	0.626	0.559	0.184
15	San Cristóbal	1.462	1.114	0.232
16	Las Marías Arriba	0.294	0.262	0.132
17	Uracillo Centro	0.637	0.570	0.185
18	Santa Rosa	1.454	1.309	0.711
19	Alto Uracillo	1.527	1.325	0.235
20	Río Indio Centro	0.319	0.279	0.102
21	Jordanal	0.842	0.717	0.034
22	Río Indio Arriba	0.356	0.313	0.100
23	Nacimiento Río Indio	0.561	0.493	0.154

Fuente: ERM, diciembre 2017

Se evaluaron dos escenarios solicitados por la ACP, los cuales consideraron la reducción de caudal en la subcuenca 6 (El Dominical). El escenario 2 consideró criterios hidrobiológicos definidos por el equipo de especialistas en biología acuática, los cuales hicieron el estudio del área y seleccionaron una especie

bandera (*A. monticola*), de mayor requerimiento hídrico, para estimar el caudal mínimo necesario para evitar efectos adversos a los hábitats acuáticos de río Indio. Para este estudio se consideró el caudal de 0.7 m<sup>3</sup>/s como caudal mínimo requerido. También, se consideraron los criterios socioeconómicos (usos productivos proyectados, consumo humano proyectado, proyecciones por riego para el 2050) definidos durante los trabajos de recolección de información de este estudio. Los resultados obtenidos del Escenario 2 indican que las subcuencas 5 (La Encantada), 7 (Castillito), 16 (Las Marías Arriba) y 18 (Santa Rosa) presentan un índice de escasez medio (20 - 40 %); las subcuencas 4 (La Puerca), 12 (Tres Hermanas), 14 (El Silencio), 17 (Uracillo Centro), 20 (Río Indio Centro), 22 (Río Indio Arriba) y 23 (Nacimiento Río Indio) presentan un índice de escasez moderado (10 - 20 %); mientras que el resto de las subcuencas presentan valores bajos menores al 10 %.

En la Tabla 78 se presenta un resumen de los valores estimados de oferta, demanda, disponibilidad e índice de escasez para los dos escenarios evaluados; mientras que los cambios en los nutrientes (nitratos y fosfatos) para los dos escenarios evaluados se presentan en la Tabla 79. Los cambios en nutrientes entre los dos escenarios se observan en las subcuencas 1 (Boca de río Indio) a la 7 (Castillito) para el Escenario 2 que incluye la descarga del 10 % del caudal promedio anual. Esta disminución en el caudal aguas abajo influye directamente en la disminución de las concentraciones de nutrientes en las subcuencas ubicadas aguas abajo de la subcuenca 6.

**Tabla 78: Resumen de oferta, demanda, disponibilidad e índice de escasez para los dos escenarios evaluados**

Subcuenca	Oferta Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)	Demanda Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)		Disponibilidad Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)		Índice de Escasez Promedio Anual (%)	
	Esc. 1, 2	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2
1	22.08	0.07	0.14	22.01	21.94	0.9	0.9
2	19.85	0.08	0.16	19.77	19.69	1.0	1.0
3	17.93	0.01	0.03	17.91	17.90	0.2	0.2
4	0.8	0.05	0.09	0.76	0.71	8.4	8.4
5	3.31	0.24	0.49	3.07	2.82	13.1	13.1
6	17.66	0.07	0.14	17.59	17.52	0.8	69.1
7	2.31	0.15	0.31	2.16	2.00	11.0	11.0
8	17.39	0.001	0.003	17.39	17.38	0.02	0.02
9	6.83	0.01	0.01	6.82	6.82	0.1	0.1
10	6.88	0.08	0.16	6.81	6.72	1.7	1.7
11	10.9	0.08	0.18	10.82	10.73	1.8	1.8
12	0.86	0.04	0.09	0.82	0.77	7.3	7.3
13	5.06	0.10	0.20	4.97	4.86	2.9	2.9
14	1.78	0.09	0.18	1.69	1.59	7.2	7.2
15	7.11	0.11	0.23	7.00	6.88	3.1	3.1
16	0.83	0.06	0.13	0.77	0.70	12.0	12.0
17	1.69	0.09	0.19	1.60	1.51	7.8	7.8
18	3.69	0.34	0.71	3.35	3.03	18.8	18.8
19	4.99	0.11	0.24	4.87	4.75	4.3	4.3
20	1.21	0.05	0.10	1.16	1.11	6.4	6.4
21	3.2	0.02	0.03	3.18	3.16	0.8	0.8
22	1.18	0.05	0.10	1.14	1.08	6.1	6.1
23	1.73	0.07	0.15	1.65	1.57	6.7	6.7

Fuente: ERM, diciembre 2017



*Tabla 79: Resumen de concentraciones estimadas de nitratos y fosfatos por subcuenca para los dos escenarios evaluados*

Subcuenca	Nitratos (mg/l)		Fosfatos (mg/l)	
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2
1	0.70	0.69	0.09	0.09
2	0.87	0.86	0.11	0.11
3	0.80	0.80	0.10	0.10
4	1.19	1.05	0.15	0.13
5	1.26	1.07	0.15	0.13
6	1.52	1.50	0.19	0.18
7	1.74	1.50	0.21	0.18
8	2.11	2.10	0.26	0.26
9	3.05	3.04	0.38	0.37
10	3.46	3.37	0.43	0.41
11	1.48	1.45	0.18	0.18
12	2.06	1.84	0.25	0.23
13	1.60	1.53	0.20	0.19
14	1.37	1.22	0.17	0.15
15	1.65	1.59	0.20	0.20
16	1.19	1.00	0.15	0.12
17	1.45	1.29	0.18	0.16
18	1.18	0.95	0.15	0.12
19	1.47	1.40	0.18	0.17
20	1.46	1.33	0.18	0.16
21	0.99	0.98	0.12	0.12
22	2.73	2.49	0.34	0.31
23	3.34	3.03	0.41	0.37

Fuente: ERM, octubre 2017

## 10. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y RECOMENDACIONES

A continuación, se resumen las limitantes del estudio desarrollado y recomendaciones para trabajos futuros:

La información económica, desde el punto de vista agropecuario, se utilizaron a nivel de corregimiento, debido a que los datos del sector en el INEC no se presentan a un nivel más detallado.

La información económica de las industrias, comercios y servicios se utilizaron a nivel de corregimiento, debido a que los datos del sector en el INEC no se presentan a un nivel más detallado.

Para el cálculo del valor económico de la demanda hídrica se utilizaron las tarifas y precios de ACP, MiAMBIENTE y la ASEP. Cabe destacar que el valor más bajo por el uso del agua corresponde a la generación eléctrica. En el caso de la cuenca del río Indio, el valor de este consumo no es relevante debido a que no hay hidroeléctricas. Sin embargo, es evidente que, en comparación con las tarifas de los otros sectores, este valor es insignificante.

Respecto a la recolección de información biológica, los principales factores que limitaron el estudio están ligados a las condiciones ambientales presentes durante los periodos de colecta (estación lluviosa). Específicamente, en temporadas de lluvia con tormentas eléctricas o crecidas de ríos, las condiciones pueden ser peligrosas para los técnicos de campo; del mismo modo, para este estudio en particular, la estación lluviosa restringió la selección de sitios de muestreo a zonas en las cuales existieran rutas que pudieran ser accesibles por vía acuática o terrestre dentro de los tiempos que el estudio requería.

Esta información debe complementarse con los estudios de línea base que se desarrollan actualmente, considerando las variaciones estacionales. Es recomendable entonces, realizar estudios que midan, no solo la variación

hidrológica del cuerpo de un río, sino también las condiciones que favorezcan el entorno de las especies objeto de estudio (especies bandera). Solo así se pueden validar las conclusiones que se obtienen al realizar una evaluación de especies, incluyendo las necesidades prioritarias como la cantidad de agua y la velocidad de corriente necesaria para permitir el desarrollo de un organismo en una zona en particular.

Como cualquier otro modelo hidrológico, una de las principales limitaciones del modelo utilizado en este estudio se relaciona directamente con la disponibilidad de información. La cuenca de río Indio presenta limitaciones relativas a la disponibilidad y calidad de información de estaciones meteorológicas para preparar la base de datos de entrada climáticas requeridas por el modelo y determinar los cambios en la entrada, salida y almacenamiento de agua de la cuenca. Como se indicó anteriormente, la disponibilidad de datos actuales y continuos es indispensable para los estudios, toma de decisiones y manejo futuro de la cuenca; este tema está siendo abordado con la rehabilitación de al menos tres estaciones hidrometeorológicas en la cuenca de río Indio, de las cuales 2 están en operación desde noviembre del 2017: Boca de Uracillo y Tres Hermanas.

La falta de información periódica (línea base) y con mayor densidad es la principal limitante dentro del análisis de calidad de agua, cuyo análisis se ha basado en el análisis espacial de muestreos realizados en diferentes puntos de la cuenca de río Indio. Los sitios de muestro con información disponible fueron utilizados para representar un comportamiento temporal de las variables de Nitrato y Fosfato. Dentro del Contrato 023-2016 se está desarrollando un programa de monitoreo de la calidad del agua, que permitirá obtener información en los próximos años.

## REFERENCIAS

- Autoridad del Canal de Panamá, *Anuarios hidrológicos 2004-2006*. Panamá, 2017
- Autoridad del Canal de Panamá. *Informe Final de la región Occidental de la Cuenca del Canal*. Panamá. 2001
- Autoridad del Canal de Panamá. *Recopilación y Presentación de Datos Socioeconómicos de la Región Occidental de la Cuenca del Canal de Panamá*. URS/D&M/IRG. Panamá. 2003
- Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP), *Boletín Estadístico de Pesca y Acuicultura 2013-2014*. Panamá. 2014
- Burcham, J. 1988. *Fish communities and environmental characteristics of two lowland streams in Costa Rica*. Rev. Biol. Trop., 36 (2A):273-285
- Cacurri, R. *Manejo de pollos de engorde y gallinas ponedoras*. Universidad Rómulo Gallegos. Caracas, Venezuela
- Castro, E., y Barrantes, G. 1998. *Valoración económico ecológico del recurso hídrico en la cuenca Arenal: El agua un flujo permanente de ingreso*. Heredia, Costa Rica.
- Chavez, A., Krasovkaia, I., Gottschalk, L. 2006. *Environmental demands for sustainable regulation schemes in the humid tropics. Climate Variability and Change – Hydrological Impacts* (Proceedings of the Fifth FRIEND Word Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. 308
- COEPTUM, “Estudio y Análisis para un Sistema de Potabilización de agua en el Corregimiento de río Indio, distrito de Donoso”, 2016.

- Colacelli, N. 2017. *Consumo de agua por el ganado*. Revista Producción Agroindustrial. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. 2017
- Contraloría General de la República. INEC Panamá. *Censos de Población y vivienda 2010*
- Contraloría General de la República de Panamá. INEC Panamá. *Censo Agropecuario 2011*
- Corbett, R. 1990. *A Method for Determining Minimum Instream Flow for Recreational Boating*. SAIC Special Report 1-239-91-01. McLean, Va: Science Application International Corporation.
- Cotta R., Thiago, Villalobos, G. U. 2010. *Distribution of Agonostomus monticola and Brycon behreae in the Río Grande de Térraba, Costa Rica and relations with water flow*. Neotropical Ichthyology, 8(4): 841-849
- Donizete, D. and Mauro A., 2016. *Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: calibration and validation tests*, Journal of Hydrology Regional Studies 7 14-37
- ETESA. *Balance Hídrico Superficial. Documento Técnico # 9*. Panamá, Panamá. 2008
- Global Partnership. *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica. Caso Panamá*. Tegucigalpa, Honduras. 2015
- Guerrero, J. 2012. *Capacidad de Carga vs. Calidad de Agua en Acuicultura*. Agrinal, Colombia. 2012.
- FAO. *Manejo eficiente de Cerdos*. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua. 2010

- FAO. *Manejo eficiente de gallinas*. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua. 2008
- IDEAM. *Estimación de la demanda de agua*. Bogotá, Colombia 2010
- Informe de la Cuenca Hidrográfica de la Canal de Panamá del 2003 al 2005, Vol. I y II, Agosto del 2006.
- Karim, C. 2015. *Manual de Usuario SWAT CUP*, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
- Ministerio de Obras Publicas Dirección General de Aguas (MOPDGA). 2010. *Análisis de Metodología y Determinación de Caudales de Reserva Turísticos*. Gobierno de Chile y AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA, Santiago, Marzo de 2010.
- Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R. and Veith, T. 2007. *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*, Trans ASABE 50 (3) 885–900
- Neitsch, S. and Arnold, J. 2011. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation*, Texas water Resources Institute Technical Report
- Normas Copanit 395.
- Organización de los Estados Americanos (OEA), *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*. Lima, 2004
- Ortiz, R., González, J., Chávez, J. 2015. *Modelo de asignación de agua considerando un caudal ambiental mínimo en la cuenca del río Metztlán en Hidalgo, México*. *Agrociencia* 49:703-721

- Pérez-Maqueo, O., Delfín-Alfonso, A., Fregoso, A., Cotler, H., Equihua, M. (2006). *Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos*. Gaceta Ecológica, No. 78, 47-66 p
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. 2017. *Solicitud de Propuestas. 8980 PAN 2017 Servicios Profesionales Especializados para la Estimación del Balance*. Febrero 2017.
- Programa de colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación de Bosques en los Países en Desarrollo (ONU-REDD). *Mapa de cobertura y uso de la tierra 2012*. Panamá 2015
- Roman-Valencia, C., Vanegas-Rios, J. 2009. *Análisis filogenético y biogeográfico de las especies del género Bryconamericus (Characiformes, Characidae) de la Baja America Central*. Caldasia 31(2):393-406
- Santacruz de León, G., Aguilar, M. 2009. *Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant*. Hidrobiológica 2009, 19(2):25-32
- Secretaria de Agricultura y ganadería. *Estimación de demandas de agua*. México DF México. 2010
- Shimaa, M. 2015. *Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model*, Alexandria Engineering Journal 54, 583-594
- Simón, J.C., García, R., Del Barrio, G., Ruiz, A., Márquez, S., Sanjuán, M.E. 2013. *Diseño de una metodología para la aplicación de indicadores del estado de conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 318 pp

- Singh, J., Knapp, H., Demissie, M. 2004 Hydrologic modeling of the Iroquois river watershed using HSPF and SWAT, *Journal of the American Water Resources Association*. 41 (2) 343-360
- Soares, L., Santos, H., Matínez, F., Callisto, M., Tupinambás, T., Castro, D., Franca J. 2015. *Metodología para la propuesta de caudales ecológicos en función de restricciones ambientales y de gestión*. Aqua-LAC- Vol. 7 - N°2- Set. 2015 pp
- Tharme, R.E. & King, J.M. 1998. *Development of the Building Block Methodology for instream flow assessments, and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverine ecosystems*. Water Research Commission Report No. 576/1/98. 452 pp



# *ANEXOS*

## ***Anexo 1 – Tareas Realizadas para la Elaboración del Reporte de Balance Hídrico y Caudal Ambiental***

### **Tarea 1: Taller para presentar propuesta metodológica para el cálculo del caudal ambiental y visita de reconocimiento y**

La Tarea 1 se llevó a cabo entre los días 12 de julio y 21 de julio de 2017. Para esta tarea, el equipo de ERM realizó junto con el personal de ACP y MiAMBIENTE (nacional y regional) visitas de reconocimiento a los tramos alto, medio y bajo de la cuenca de río Indio. Como parte de los trabajos que comprenden la Tarea 1, ERM presentó el método propuesto para la estimación del caudal ambiental (ver Figura 1) por sección de la cuenca (tramos alto, medio y bajo) del río Indio.



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 1: Presentación de la metodología propuesta para el cálculo del balance hídrico del río Indio por parte de ERM***

El equipo de trabajo fue conformado por:

- Director del proyecto con experiencia en estudios hidrológicos, caudales ambientales y modelación hidrológica.
- Especialistas en recursos hídricos (hidráulica e hidrología).
- Especialistas ambientales, sociales y economistas.
- Especialistas en modelación hidrológica y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Como resultado de las actividades de la Tarea 1, ERM obtuvo comentarios y sugerencias por parte del personal de ACP y MiAMBIENTE (nacional y regional) sobre la metodología propuesta. Considerando lo anterior, ERM realizó ajustes a la metodología inicial incorporando los siguientes componentes principales:

- Incorporación a los aspectos sociales del uso del río Indio como medio de transporte;
- Incluir los detalles presentados en taller sobre la metodología semi-holística a ser utilizada para la estimación del caudal ambiental (p.ej., recolección de peces y macroinvertebrados; incorporación de aspectos socioeconómicos, etc.).

Es importante mencionar que durante el taller se especificó y acordó con ACP y MiAMBIENTE que el método para la estimación del caudal ambiental sería semi-holístico debido a las limitantes de tiempo y recolección de información (p.ej., un método holístico requeriría campañas más intensas de recolección de información en campo). Se utilizó información bibliográfica (reportes previos) para determinar los caudales de consumo humano, uso agrícola y agropecuario considerando datos de

censo de población<sup>44</sup> y censo agropecuario<sup>45</sup>. Para determinar el caudal necesario para las distintas especies y hábitats del río Indio, el equipo de trabajo utilizó datos recolectados durante la campaña de muestreo de biología acuática descrita en la sección 4.2.1 e información bibliográfica (determinación de caudales óptimos para las especies identificadas).

## VISITA DE RECONOCIMIENTO

Con la finalidad de identificar posibles sitios para muestreos y tomas de datos durante el estudio, se programó realizar tres recorridos para cubrir los tramos alto, medio y bajo de la cuenca del río Indio. Asimismo, la gira sirvió como primer paso para organizar aspectos logísticos y de seguridad durante el proyecto. Es importante señalar que antes de iniciar la visita en cada sección de la cuenca, se realizaba una breve charla de salud y seguridad para prevenir situaciones de riesgo, así como también, indicar las medidas a tomar en caso de algún incidente (ver Figura 2).

---

<sup>44</sup> <https://www.contraloria.gob.pa/inec/>

<sup>45</sup> [https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=60&ID\\_PUBLICACION=364&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=15](https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=60&ID_PUBLICACION=364&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=15)



Fuente: ERM, julio 2017

**Figura 2:** ERM impartiendo charla de salud y seguridad antes de iniciar el recorrido

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los sitios visitados durante la gira de reconocimiento de los tramos alto, medio y bajo de la cuenca del río Indio. En esta tabla se describen los puntos identificados inicialmente por ERM para los trabajos de recolección de información necesaria para la determinación del caudal ambiental. De la Figura 3 a la Figura 13, se ilustran las características de los sitios visitados.

**Tabla 1:** *Resumen de la gira de reconocimiento en los tramos alto, medio y bajo del río Indio*

Información	Tramo Alto	Tramo Medio	Tramo Bajo
Fecha y participantes	El recorrido por el tramo alto de la cuenca se llevó a cabo el miércoles 19 de julio de 2017, y en la misma se contó con el apoyo de personal MiAMBIENTE de la Agencia del Valle, además del equipo de ERM.	El día jueves 13 de julio de 2017 se realizó gira de reconocimiento en la parte media de la cuenca de río Indio durante la cual, además del personal de ERM, se contó con el acompañamiento de la ACP y de la regional de MiAMBIENTE de Panamá Oeste.	Este tramo fue visitado el día lunes 17 de julio de 2017 y durante la misma participó personal del Ministerio de Ambiente, la ACP y ERM. Para este tramo de la cuenca se requirió del uso de transporte acuático y terrestre.

Información	Tramo Alto	Tramo Medio	Tramo Bajo
Puntos visitados	Se observó punto de nacimiento del río Indio, así como también varios sitios en los que el cauce se cruza con las vías de acceso en poblados de Río Indio Nacimiento, Jordanal, Río Indio Centro, Río Indio Cabecera y Arenilla.	Tres Hermanas, San Cristóbal, propiedades privadas (previo conocimiento del propietario), puente sobre el río Teriá y cauce del río Indio.	El sitio de acceso utilizado fue la desembocadura del río Indio, llegando hasta Guayabalito por vía acuática. Posteriormente, se visitó el acceso al río Indio desde la comunidad de Limón (acceso terrestre).
Descripción de los sitios	Los puntos identificados cuentan con buenas vías de acceso. El ancho y la profundidad del cauce en este tramo son muy variables. Se observó densa cobertura boscosa principalmente al inicio del tramo.	Los sitios presentan cauces con un ancho de aproximadamente 8 m a 12 m y profundidades máximas de aproximadamente de 5-7 metros.	Se observó influencia de la ganadería, disminución de cobertura boscosa, acumulación de material leñoso y sedimentos en la ribera. Se considera que aproximadamente, tiene un ancho de entre 12 m y 15 m, y una profundidad máxima de 5-7 metros.
Sitios identificados para recolección de muestras	Se previó realizar la toma de muestras biológicas de esta sección en 3 puntos (Río Indio Centro, quebrada Arenilla, quebrada Jordanal)	Se ha contemplado tomar 5 puntos para realizar el muestreo biológico (Teriá, Uracillo, Tres Hermanas, San Cristóbal, El Jobo).	Para este tramo de la cuenca se realizará el muestreo en 4 puntos (quebrada Membrillar, quebrada El Chilar, La Encantada, Guayabalito).

Fuente: ERM, Julio 2017



Fuente: ERM, julio 2017

**Figura 3: Tramo alto de la cuenca - Área identificada por personal de MiAMBIENTE como acceso al nacimiento del río Indio**



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 4: Tramo alto de la cuenca – El río atraviesa la vía de acceso principal a comunidades del tramo alto y medio de la cuenca (provincias de Coclé y Panamá Oeste)***



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 5: Tramo alto de la cuenca – Este sitio en Jordanal se ha identificado como posible punto para muestreo biológico***



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 6: Tramo alto de la cuenca – Punto en río Indio luego de su unión con quebrada Arenilla (localidad de Río Indio Centro)***



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 7: Tramo medio de la cuenca – Confluencia del río Indio con su tributario, el río Teriá***





Fuente: ERM, julio 2017

*Figura 8: Tramo medio de la cuenca - Río Teriá aguas arriba de su confluencia con el río Indio*



Fuente: ERM, julio 2017

*Figura 9: Tramo medio de la cuenca - Río Indio a la altura de San Cristóbal*



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 10: Tramo bajo de la cuenca - Riberas del río con poca cobertura boscosa evidencian sectores erosionados en poblado cercano a desembocadura de río Indio***



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 11: Tramo bajo de la cuenca - Se observa influencia de actividad ganadera en las riberas del río Indio***



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 12: Tramo bajo de la cuenca – Posible punto de muestreo biológico en punto de confluencia entre río Indio y río La Encantada***



Fuente: ERM, julio 2017

***Figura 13: Tramo medio de la cuenca – Acceso a río Indio por comunidad de Limón; posible punto de muestreo y acceso a Boca de Uracillo***

## **Tarea 2: Recolección y control de calidad de información**

Las actividades asociadas a esta tarea comenzaron a partir del día de la reunión de inicio entre ERM y PNUD-ACP (30 de mayo del 2017) y se extendieron hasta la parte final del proyecto, correspondiente al presente reporte. El objetivo principal de esta tarea fue alimentar al modelo hidrológico, el cual sirvió como principal componente para calcular el balance hídrico, índices de disponibilidad de agua y estimar el caudal ambiental en la cuenca del río Indio, considerando los aspectos ambientales y socioeconómicos.

Toda la información recolectada fue revisada a través de un proceso interno de control y garantía de calidad de la misma, a fin de identificar brechas en la misma y definir los pasos a seguir para crear los insumos requeridos por el modelo hidrológico.

## **Tarea 3: Construcción del modelo hidrológico**

Tal como se solicitó en los Términos de Referencia, en este estudio se utilizó el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT), que es una herramienta para la evaluación del suelo y agua para una cuenca hidrográfica. El SWAT fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés)- Agricultural Research Service (ARS) y Texas A&M AgriLife Research (Texas) (USDA y Texas, 2017) para predecir el impacto de las prácticas de manejo de suelos en los rendimientos de agua, sedimentos y químicos agrícolas en grandes cuencas complejas con diferentes tipos de suelos, uso del suelo y condiciones de manejo durante largos periodos de tiempo. SWAT es un modelo hidrológico continuo de tiempo que es ampliamente aceptado y utilizado en estudios hidrológicos y balances hídricos de cuencas hidrográficas. Dicho modelo requiere información climatológica,

propiedades de suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo de tierra que ocurren en las cuencas a ser estudiadas<sup>46</sup>.

En esta Tarea 3, se llevó a cabo la preparación de los datos de entrada para el modelo hidrológico SWAT. Para este estudio se utilizó la información recolectada en la Tarea 2 y se prepararon los archivos de entrada para el modelo en el formato requerido. Después de preparar los datos de entrada, se realizaron las siguientes actividades para completar la construcción del modelo hidrológico:

- *Delineación de las cuencas y sub-cuencas hidrográficas:* Se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) con mejor resolución disponible para el sitio de estudio y se delineó la cuenca y sub-cuencas hidrográficas del río Indio. Un ejemplo de la delineación preliminar de cuencas se muestra en la Figura 14, mientras que en la Tabla 4 se incluye un listado de referencia con los números de subcuenca y su nombre asignado de acuerdo a las localidades ubicadas dentro de la misma.
- *Definición de las unidades de respuesta hidrológica (HRU por sus siglas en inglés- Hydrologic Response Unit).* Las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) consisten en porciones del terreno con igual pendiente, uso de suelo y tipo de suelo, que generan una misma respuesta hidrológica, estas fueron definidas considerando el rango de pendientes dentro del área de estudio. La cuenca se dividió en HRU con propiedades únicas de tipo y uso de suelo. Los valores de entrada para cada HRU se agruparon considerando variables climáticas, tipo de suelo, uso de suelo y manejo dentro de la cuenca. La cobertura vegetal y textura del suelo de la cuenca es otro insumo importante dentro del modelo para la generación de las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU).

---

<sup>46</sup> [http://swat.tamu.edu/media/69302/ch01\\_overview.pdf](http://swat.tamu.edu/media/69302/ch01_overview.pdf)

Finalmente, los parámetros de entrada climáticos se deben ajustar de acuerdo a los requerimientos del modelo, entre los cuales están las series de precipitación y demás variables climáticas.

La información de suelos se obtuvo a partir de la cartografía existente del Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables (INRENARE) de Panamá a escala 1:50000. En este mapa se describen las unidades de suelo a nivel de epípedo y endopedo. Estas unidades fueron reclasificadas en unidades de suelo de la taxonomía de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y complementadas con la base de datos global armonizada de la FAO <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/> y posteriormente incluidas en el ArcSWAT como nuevas categorías (ver Tabla 2). Los suelos predominantes en la cuenca del río Indio corresponden al grupo NITISOL de la FAO, correlacionado con el grupo taxonómico ULTISOL de la USDA. Estos suelos son profundos, bien drenados con un contenido de arcilla superior al 30 % que se encuentran en los trópicos y sub-trópicos en bosques tropicales húmedos.

**Tabla 2:** Descripción de parámetros de suelo introducidos en el modelo

<b>Propiedades del suelo delineadas en la cuenca del río Indio</b>		
<b>Nombre del Suelo</b>	<b>Nitisol (Utisol)</b>	<b>Andosol</b>
Grupo hidrológico del suelo	C	C
Máxima Profundidad de raíz (mm)	1300	600
Textura 1	franco arcilloso	franco arenoso
Profundidad (mm)	2500	1000
Densidad aparente húmeda (g/cc)	1.36	2.5

<b>Propiedades del suelo delineadas en la cuenca del río Indio</b>		
<b>Nombre del Suelo</b>	<b>Nitisol (Utisol)</b>	<b>Andosol</b>
K sat (est.) (mm/h)	100	400
Carbón orgánico (peso %)	0.95	0.08
Arcila (%)	31	5
Lodo (%)	24	25
Arena (%)	45	70
Fragmentos de Roca (%)	1	10
Albedo del suelo	0.01	0.08
Erosión K	0.2	0

Fuente: ERM, septiembre 2017

La tipología de suelos existentes en la cuenca del río Indio será determinante dentro de los distintos procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca, desde la escorrentía que es determinada por las propiedades texturales del suelo, como la posibilidad de tener infiltración hacia el subsuelo que está controlada por la conductividad.

## **USO DE SUELOS Y COBERTURAS**

El tipo de coberturas va estar relacionado directamente en el cálculo de las variables del balance hídrico de la cuenca hídrica del río Indio, en la medida en que los parámetros de coberturas están involucrados en las ecuaciones utilizadas para calcular la evapotranspiración. Es así que las variaciones en los tipos de cobertura y usos del suelo reflejan variaciones espaciales en la variable evapotranspiración (ET), además de que están involucradas en el cálculo de la escorrentía.

El mapa de coberturas se obtuvo a partir de la clasificación de Imágenes Rapideye con una resolución espacial de 5 metros y una resolución espectral de 5 bandas del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del 2012 elaborando mediante el Programa de Colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en los Países en Desarrollo (ONU-REDD) generado en el año 2015. Los bosques tropicales maduros y mixtos representan el mayor porcentaje de ocupación de la cuenca del río Indio seguido de rastrojos, pastos, cuerpos de agua y áreas pobladas. Cada una de las categorías de uso del suelo fue introducida y reclasificada en el ArcSWAT. Los datos de vegetación se obtienen de la base de datos predeterminada del SWAT con cambios en el índice máximo de área foliar (BLAI), la conductancia estomática de las plantas (GSI) y el coeficiente de Manning (n), para las distintas superficies, con el objeto de representar mejor las condiciones de vegetación de la cuenca del río Indio de Panamá (ver Figura 4-5).

- Los parámetros de usos del suelo introducidos en la simulación y las clases SWAT de coberturas reclasificadas se muestran en la Tabla 3.
- Las coberturas y tipos de suelo fueron superpuestas para definir las unidades de respuesta hidrológica (HRUs) para cada subcuenca por el modelo SWAT. Al subdividirla la cuenca en HRUs, el modelo refleja las diferencias en evapotranspiración y otras condiciones hidrológicas para cada una de las coberturas y suelos. Las coberturas reclasificadas e introducidas en el modelo se enlistan en la Tabla 3.



**Tabla 3: Coberturas de suelo presentes en la cuenca del río Indio**

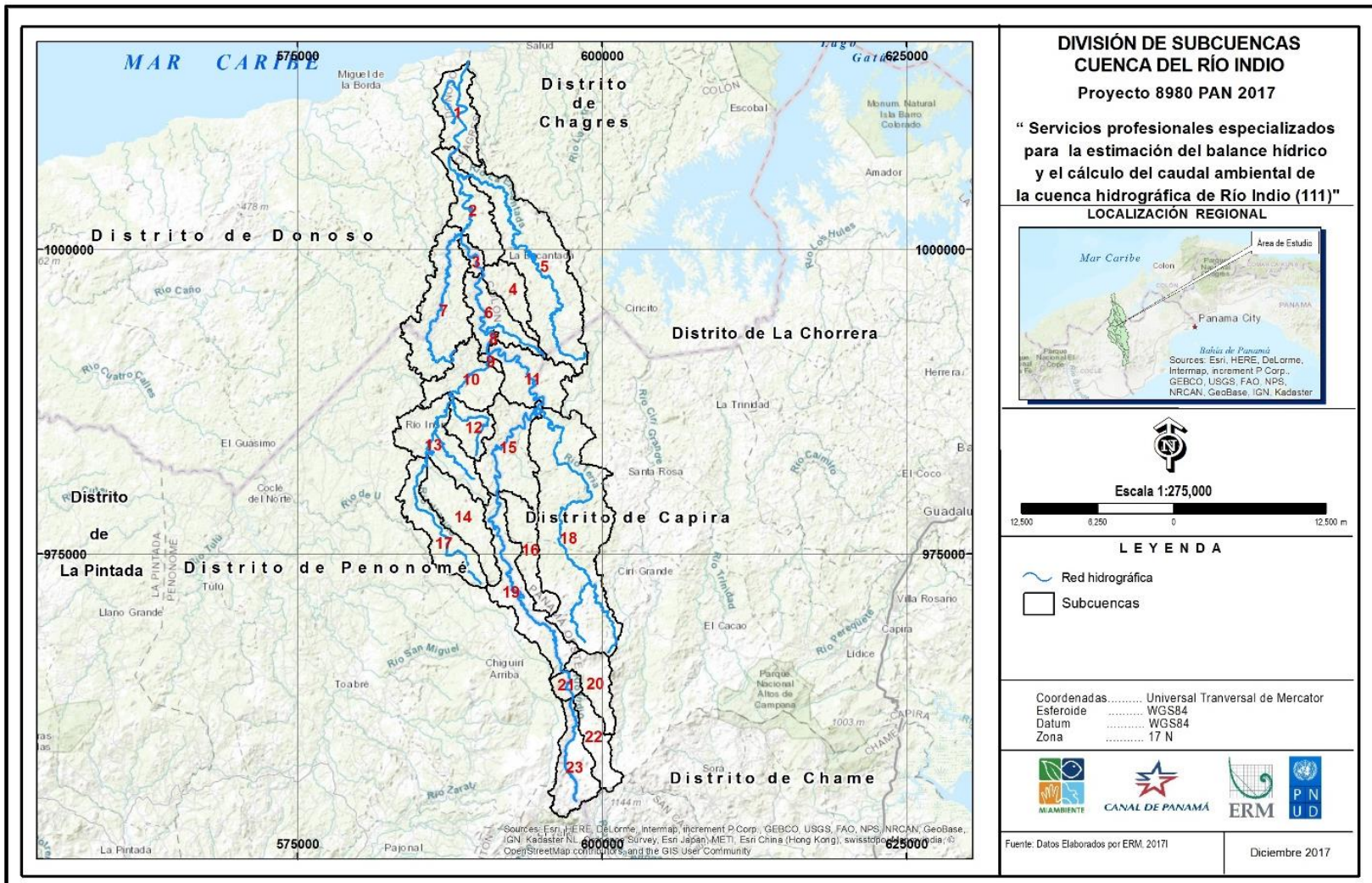
<b>Cobertura de tierra</b>	<b>Clases SWAT</b>	<b>% Área de la cuenca</b>
Bosque maduro	BOSM	15
Bosque mixto	FRST	35
Rastrojo	RAST	23
Pastos	PAST	10
Agua	WATR	2
Áreas pobladas	URLD	4

Fuente: ERM, septiembre 2017

**Tabla 4: Nombres de referencia de las subcuencas del río Indio**

<b>Subcuencas</b>	<b>Nombre</b>
Subcuenca 1	Boca de río Indio
Subcuenca 2	Guasimo
Subcuenca 3	Guayabalito
Subcuenca 4	La Puerca
Subcuenca 5	La Encantada
Subcuenca 6	Dominical
Subcuenca 7	Castillito
Subcuenca 8	El Jobo
Subcuenca 9	Barnizal
Subcuenca 10	Las Minas
Subcuenca 11	Los Cedros
Subcuenca 12	Tres Hermanas
Subcuenca 13	El Jobo Arriba
Subcuenca 14	El Silencio
Subcuenca 15	San Cristóbal
Subcuenca 16	Las Marías Arriba
Subcuenca 17	Uracillo Centro

<b>Subcuencas</b>	<b>Nombre</b>
Subcuenca 18	Santa Rosa
Subcuenca 19	Alto Uracillo
Subcuenca 20	Río Indio Centro
Subcuenca 21	Jordanal
Subcuenca 22	Río Indio Arriba
Subcuenca 23	Nacimiento Río Indio

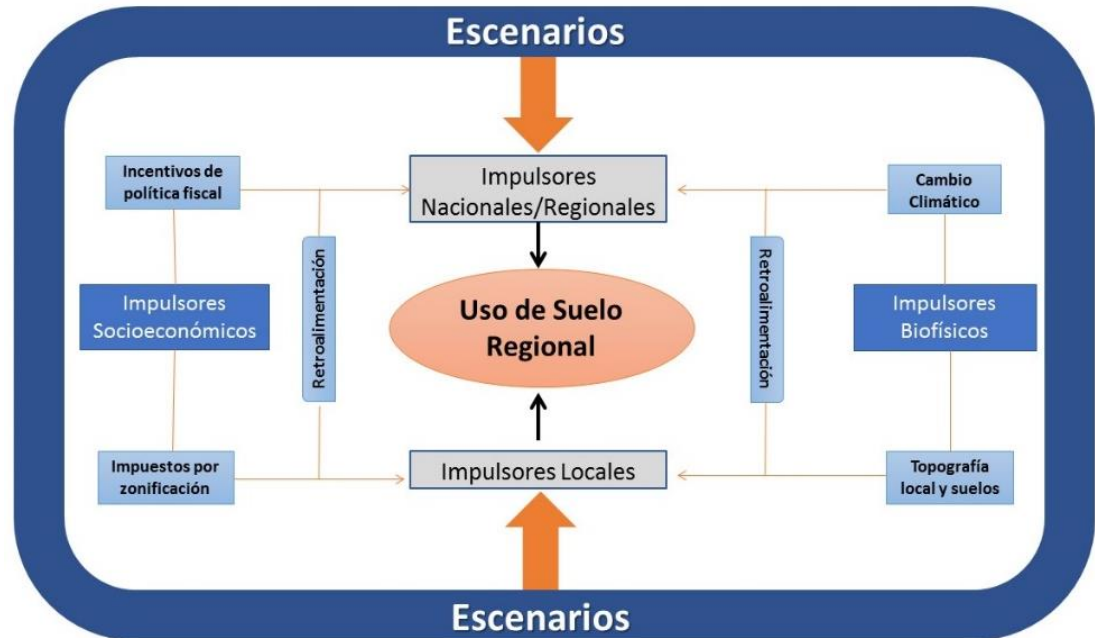


Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 14:** Delineación de las subcuencas del río Indio

- *Definición de escenarios.* Muchos factores determinan los cambios en el uso suelo futuro en cuencas hidrográficas. El cambio de la cubierta del suelo es intrínsecamente un acontecimiento local; con todo, los factores socioeconómicos y biofísicos más amplios de la escala también afectan cómo los seres humanos toman decisiones para utilizar el paisaje. La proyección de la cobertura de suelo en el futuro requiere que los modeladores tengan en cuenta las fuerzas motrices del cambio de cobertura terrestre que operan a escalas desde el nivel local ("de abajo hacia arriba") hasta el global ("de arriba hacia abajo"), tal como se muestra en la Figura 15.

Para este paso, el equipo de ERM y la ACP realizaron reunión durante la última semana de noviembre de 2017 para definir parámetros para un escenario (además del escenario de línea base) a ser simulado. En la Figura 3-16 se presenta un esquema general que ilustra los componentes y pasos principales usados para la selección del escenario alterno. El segundo escenario analiza posibles afectaciones producto de la reducción de caudal por otros usos, considerando criterios hidrobiológicos (seleccionando especies bandera) y sociales (población, abastecimiento para el consumo humano y proyecciones de requerimientos de irrigación).



**Figura 15:** *Ejemplo de esquema general que ilustra los componentes y pasos principales para la selección de escenarios alternos*

- *Ejecución del modelo y análisis de parámetros sensibles.* En este paso se corrió el modelo hidrológico SWAT usando los archivos hidrometeorológicos de las estaciones Boca de Uracillo y Tres Hermanas (Ver Anexo 5) y la información de las HRU, definidas en pasos anteriores. Inicialmente, el modelo fue corrido para el periodo disponible de información de caudales que pudiera ser usada para la calibración del modelo.
- *Comparación de valores de generados por el modelo con valores de caudales diarios observados, incluyendo un análisis de incertidumbre.* Este paso incluyó la comparación de los caudales generados por el modelo con los valores de caudales disponibles históricos medidos en el río Indio. El análisis de incertidumbre incluyó la definición de parámetros que tuviesen injerencia sobre el proceso de calibración, tales como coeficiente de Manning, conductividad hidráulica, dimensiones de los cauces, entre otros.

- *Extensión del modelo.* Una vez que se obtuvo la mejor calibración posible del modelo, este se extendió para cubrir un periodo de tiempo de los últimos 15 años (caudales calculados o sintéticos), considerando los resultados logrados en la Tarea 2 (disponibilidad de información hidrometeorológica, principalmente precipitación). La extensión del modelo hidrológico correspondió al periodo 2000-2015 tomando en consideración datos de las estaciones Cañones, San Miguel y Barro Colorado, además, información hidroclimatológica de la estación ICACAL tomando en cuenta las recomendaciones de los especialistas en hidrología de ETESA y ACP, instituciones que proporcionaron los datos.

**Tabla 5:** *Localización de estaciones hidrometeorológicas seleccionadas para la modelación hidrológica*

Estación Hidrometeorológica	Coordenadas geográficas		UTM	
	Lat.	Long	X	Y
Chiguirí Arriba	8.672778	-80.1875	589386.799	958771.292
Miguel de la Borda	9.153611	-80.299722	576939.408	1011909.86
Boca de Uracillo	8.975833	-80.175	590688.051	992282.25
Indio Los Chorros	8.761667	-80.126667	596057.123	968614.397
Las Marías	8.883333	-80.216667	586129.271	982044.8

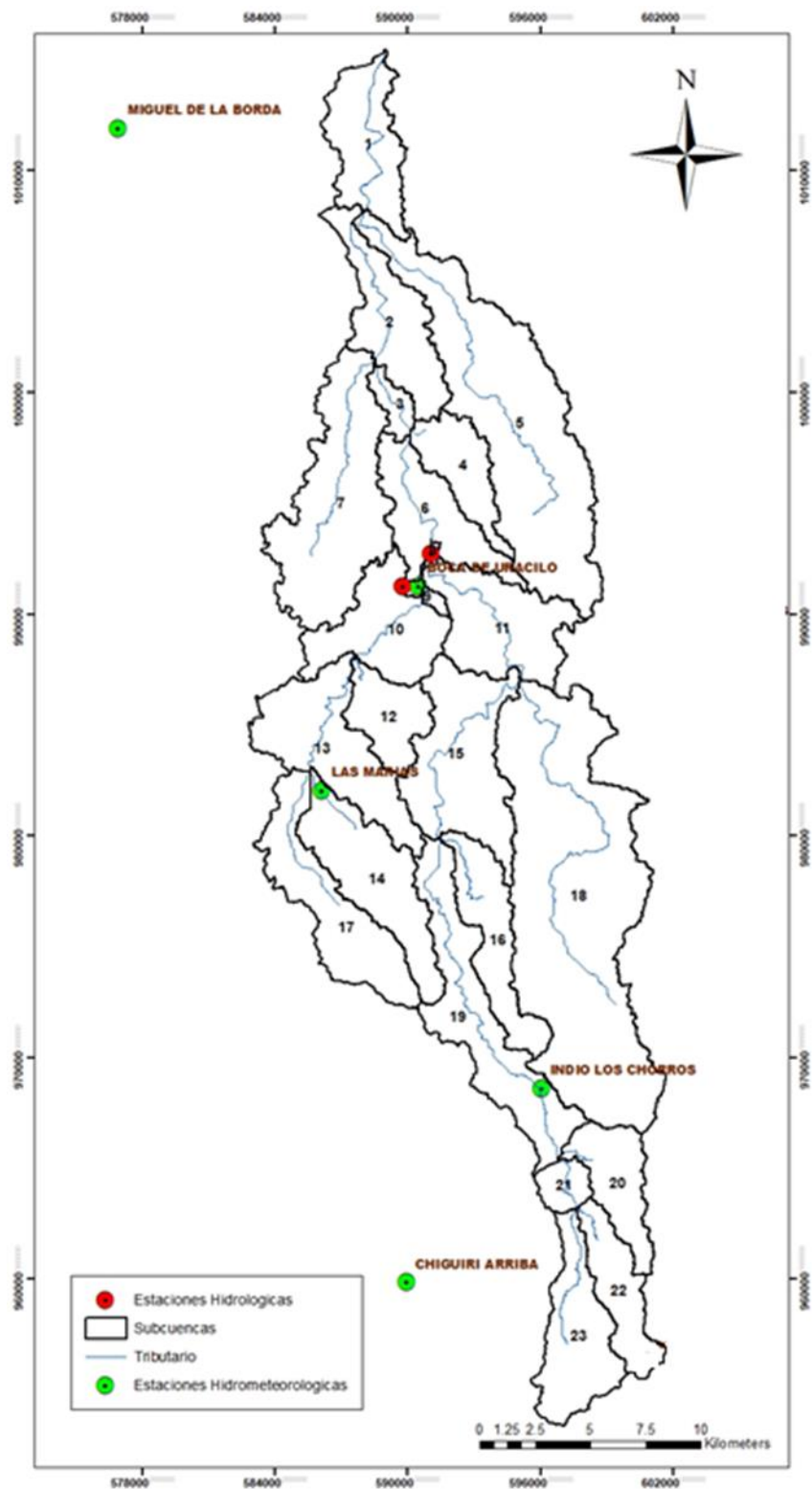


Figura 16: Estaciones hidrometeorológicas en la cuenca de río Indio

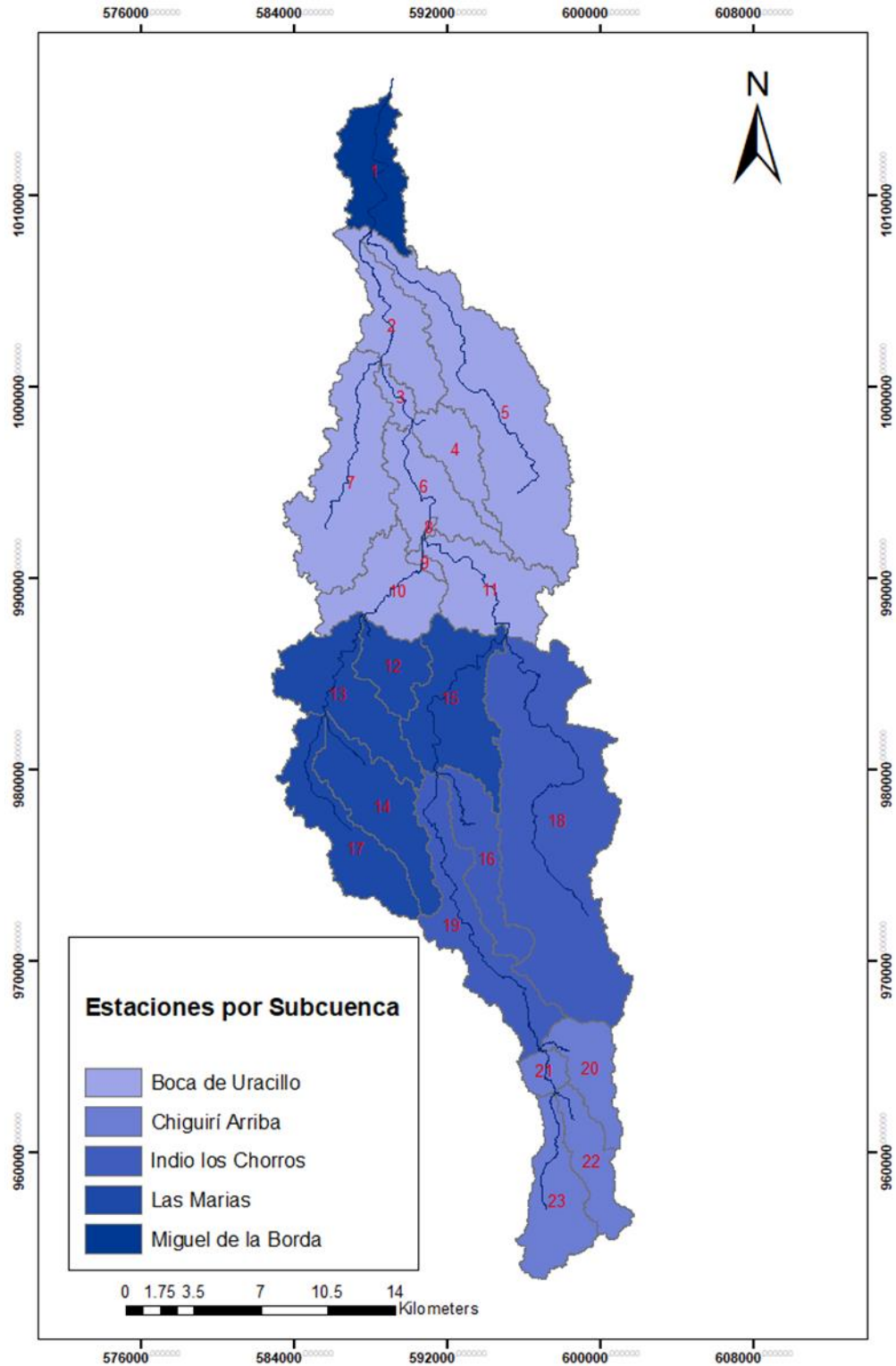


Figura 17: Estaciones de precipitación utilizadas por subcuenca para la extensión del modelo hidrológico (2000-2015)



- *Calidad del agua.* Considerando los caudales generados por el modelo SWAT y la información disponible de calidad del agua (nitratos y fosfatos), se estimaron las concentraciones de nitratos y fosfatos a escala de subcuenca del río Indio bajo las condiciones definidas para los escenarios seleccionados (un escenario para las condiciones existentes y otro considerando una reducción del caudal).

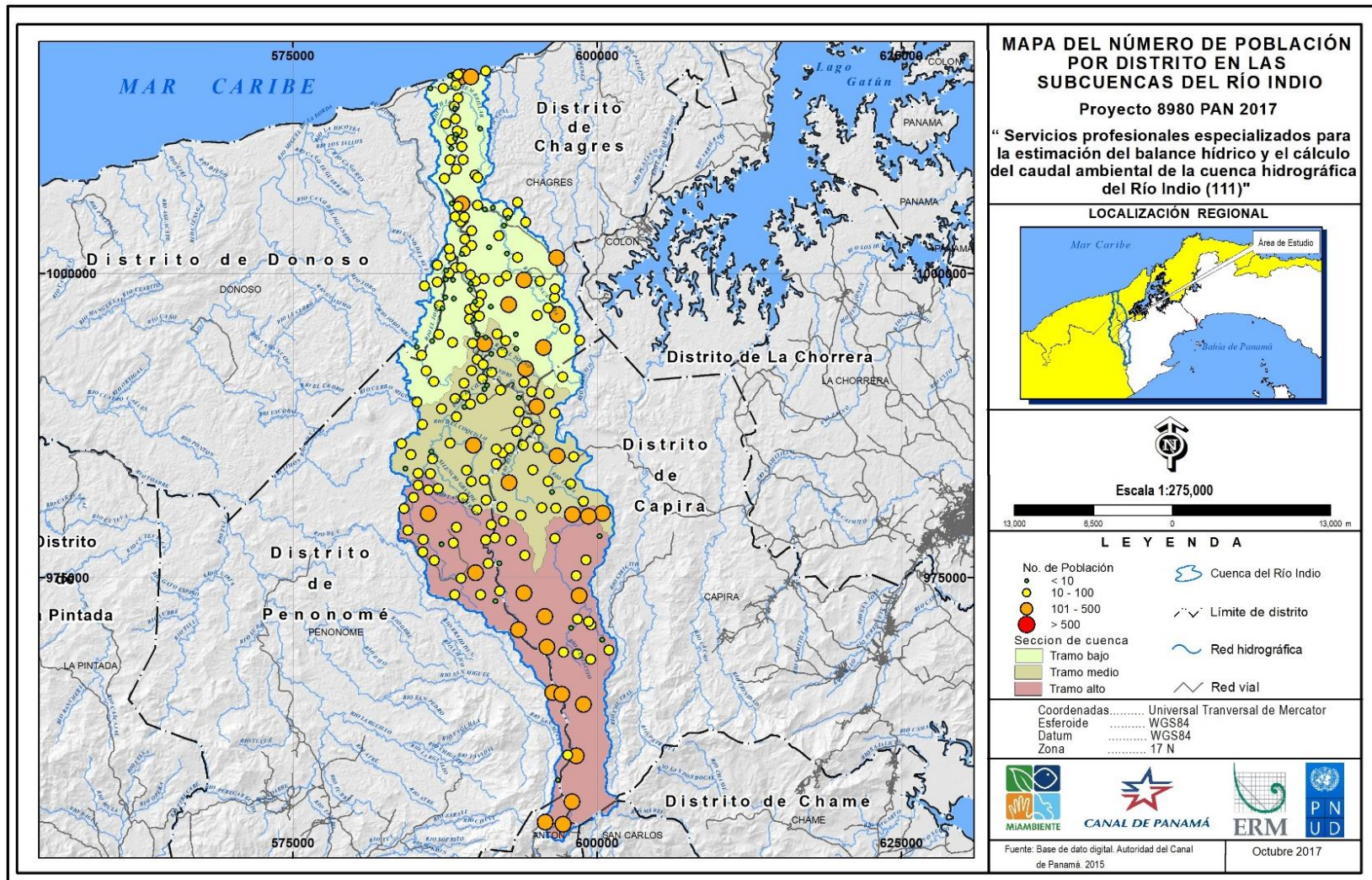
Información disponible de calidad de agua recolectada dentro de la cuenca del río Indio fue provista por el MiAMBIENTE y por la ACP. Los cambios en las cargas de nutrientes se evaluaron mediante una hoja de cálculo en la cual se correlacionaron los caudales generados por el modelo hidrológico para los dos escenarios y las concentraciones de nutrientes medidos dentro de la cuenca.

#### **Tarea 4: Proceso de resultados**

Esta tarea involucró la generación de balances hídricos a nivel subcuenca, la estimación del caudal ambiental y el cálculo de la disponibilidad hídrica obtenido del análisis entre la oferta y la demanda de agua.

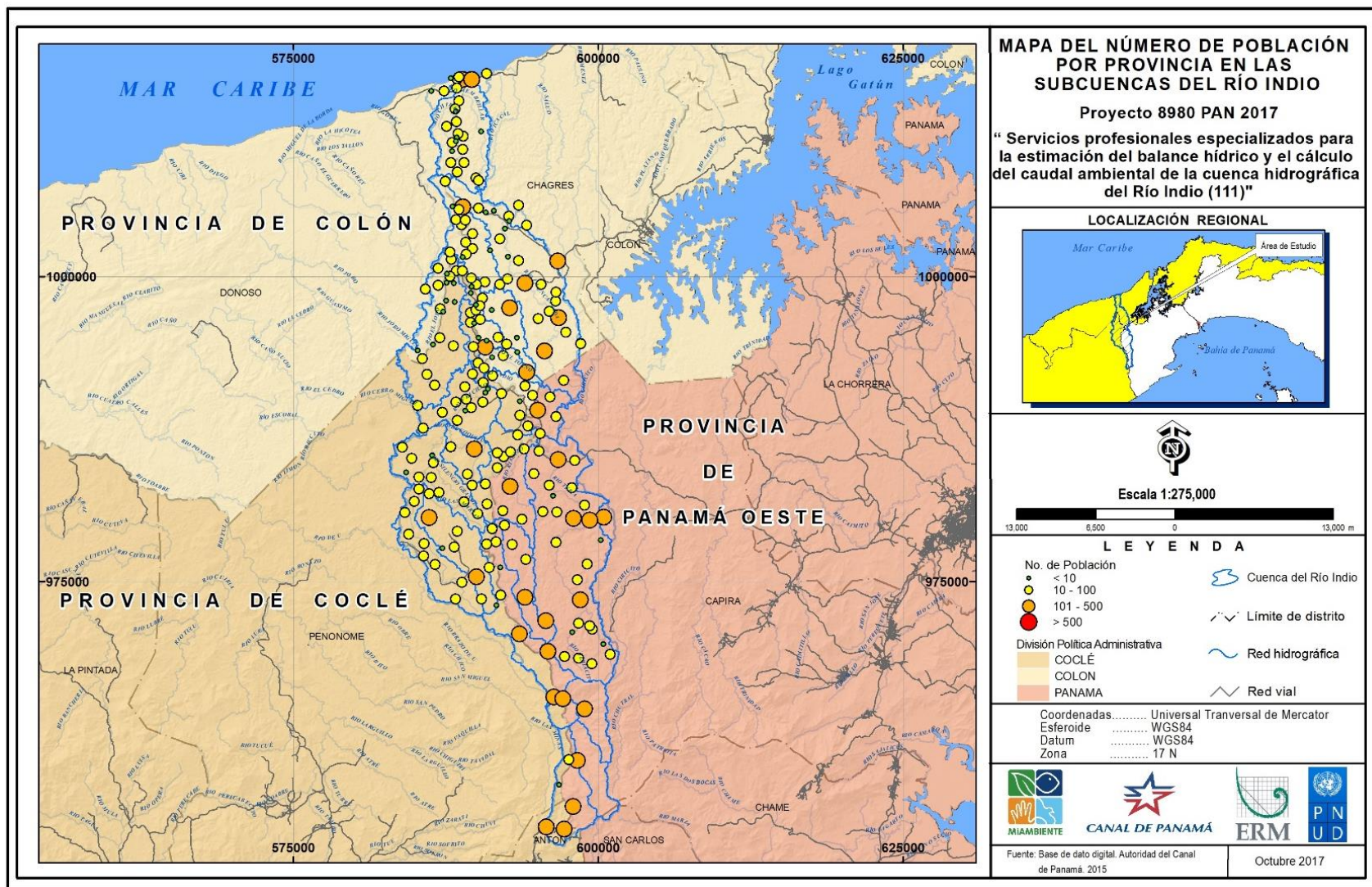
*Anexo 2: Reporte Complementario. Análisis del componente biológico para cálculo de caudal ambiental (Ver adjunto)*

*Anexo 3: Mapas de población de la cuenca hidrográfica de río Indio*



Fuente: ERM, diciembre 2017

**Figura 1:** Número de población por distrito en las subcuencas de río Indio



Fuente: ERM, diciembre 2017

Figura 2: Número de población por provincia en las subcuencas de río Indio

***Anexo 4: Concentraciones promedio mensuales y anuales en las diferentes subcuencas de río Indio.***

ESTACIÓN BOCA DE URACILLO EN EL RÍO INDIO												
Caudales promedios diarios en m <sup>3</sup> /s												
Sensor: 3111	Año: 2004											
Latitud: 8° 58' 33" N	Área de drenaje: 365 km <sup>2</sup>											
Longitud: 80° 10' 30" O	Elevación: 9.1 m											
DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	27.2	10.8	6.18	2.95	11.9	13.4	11.0	13.7	19.3	26.9	40.9	23.6
2	25.5	10.8	6.00	2.83	11.4	17.8	9.76	12.6	19.3	19.5	34.3	21.3
3	24.2	10.5	6.02	2.77	35.3	13.3	9.09	31.5	17.6	15.1	46.2	20.1
4	22.9	10.2	6.05	2.74	34.1	15.5	9.91	84.2	24.5	14.2	43.1	19.1
5	21.7	10.1	5.82	2.68	25.7	16.8	10.0	56.8	29.7	21.5	79.7	37.8
6	20.7	9.77	5.66	2.66	17.4	16.7	8.79	31.0	27.3	36.6	57.0	27.4
7	20.8	9.92	5.55	2.75	18.0	13.4	10.9	29.4	25.9	33.6	31.8	20.8
8	19.5	9.43	5.40	2.71	12.7	12.3	15.2	22.1	57.7	49.7	45.8	19.6
9	21.9	9.32	5.31	2.64	11.5	11.7	14.2	26.0	32.6	48.3	37.6	22.3
10	22.4	9.00	5.34	2.60	12.5	20.3	12.6	28.0	26.8	38.3	61.2	18.9
11	20.1	8.73	5.15	2.66	10.5	21.3	23.1	22.2	21.3	22.1	48.5	18.6
12	18.3	8.52	7.95	2.44	9.8	15.1	16.3	21.6	24.4	19.7	34.5	17.6
13	18.6	8.42	5.28	2.31	8.85	12.6	14.2	17.5	30.9	21.4	30.4	17.0
14	16.7	8.65	4.57	2.23	8.94	11.8	12.0	16.0	22.5	19.6	26.9	17.7
15	16.0	8.51	4.29	2.11	15.1	11.5	19.5	15.2	23.8	44.9	25.9	15.4
16	15.6	8.18	4.16	2.02	49.6	11.0	18.8	14.7	23.8	46.3	27.8	27.6
17	14.8	7.86	3.99	2.09	51.5	10.6	12.6	15.6	45.2	35.9	23.1	23.1
18	14.2	7.63	4.04	2.17	32.7	10.3	14.2	14.3	31.5	33.6	27.0	17.1
19	13.7	7.46	3.97	2.04	38.7	14.6	16.0	48.8	25.2	29.6	106	16.4
20	13.3	7.34	3.74	5.26	22.3	12.4	11.8	40.7	23.2	27.9	52.5	16.1
21	14.6	7.11	3.55	27.8	18.0	11.2	33.6	27.5	19.2	50.2	32.6	14.6
22	19.4	7.31	3.42	13.0	23.2	10.3	45.9	21.9	19.4	36.9	27.8	14.8
23	24.6	7.40	3.24	5.86	23.5	10.1	20.0	47.6	17.8	51.1	56.2	13.8
24	18.2	6.99	3.22	4.33	32.4	10.3	19.0	36.4	20.4	50.2	67.0	12.7
25	15.2	6.76	3.33	5.33	24.0	10.5	17.7	31.9	18.4	27.1	43.3	12.3
26	13.7	6.55	3.28	13.0	21.2	9.87	17.4	25.8	16.5	57.4	42.2	12.0
27	12.9	6.43	3.20	15.4	21.0	9.49	18.3	22.8	19.1	78.4	40.0	11.8
28	12.4	6.28	3.17	8.80	23.9	9.32	18.1	26.6	23.0	42.3	29.0	11.4
29	11.9	6.27	3.32	7.98	19.2	10.8	22.8	24.8	19.0	39.9	25.8	11.0
30	11.5		3.63	6.00	16.2	12.6	18.7	25.0	18.2	55.1	24.9	10.6
31	11.2		3.32		14.2		16.7	19.7		41.8		10.4

*Figura 1: Caudales Promedios Diarios de la Estación Boca de Uracillo en la Cuenca del río Indio en Anuario Hidrológico del año 2004 (Autoridad del Canal de Panamá)*

ESTACIÓN TRES HERMANAS EN EL RÍO INDIO												
Caudales promedios diarios en m <sup>3</sup> /s												
Sensor:						Año: 2004						
Latitud: 9° 00' 07" N						Área de drenaje: 383 km <sup>2</sup>						
Longitud: 80° 10' 52" O						Elevación: 12.1 m						
DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	29.3	11.6	6.54	3.13	12.7	14.6	11.9	14.5	20.1	27.1	47.4	25.1
2	27.5	11.3	6.35	3.01	139	18.9	10.8	13.4	21.2	21.8	36.5	22.2
3	26.0	11.2	6.37	2.95	40.0	14.5	9.81	32.6	18.6	15.5	48.5	20.7
4	24.6	10.9	6.40	2.91	38.5	16.8	10.5	74.9	24.9	14.6	51.9	19.6
5	23.3	10.8	6.16	2.85	28.5	16.8	10.9	79.1	29.6	24.1	67.7	43.0
6	22.3	10.4	5.99	2.83	18.6	18.7	9.43	37.1	32.1	36.8	73.2	33.3
7	22.3	10.6	5.86	2.92	19.2	14.9	10.9	36.8	30.8	31.0	35.7	22.4
8	20.9	10.1	5.70	2.88	13.6	13.7	16.1	28.6	59.4	51.9	46.1	20.5
9	23.5	9.94	5.61	2.80	12.3	12.9	15.3	26.2	44.7	68.5	43.8	23.0
10	24.0	9.59	5.64	2.76	13.3	21.5	12.1	33.8	30.7	51.1	67.3	19.7
11	21.6	9.30	5.48	2.82	11.2	22.7	25.3	22.5	23.1	24.5	56.7	19.1
12	19.6	9.08	8.48	2.59	10.4	16.1	18.4	24.8	23.1	21.1	38.1	18.0
13	20.0	8.97	5.63	2.45	9.44	13.8	15.0	18.6	36.6	24.7	33.1	17.6
14	17.9	9.21	4.86	2.36	8.53	12.8	12.8	16.9	24.5	21.8	29.0	18.5
15	17.1	9.06	4.56	2.24	16.1	12.7	19.6	16.0	23.2	51.6	27.3	15.9
16	16.7	8.70	4.42	2.14	57.4	12.0	21.1	15.6	27.4	53.4	30.0	26.3
17	15.9	8.36	4.25	2.22	59.7	11.6	13.3	18.4	43.5	40.7	24.3	26.6
18	15.2	8.11	4.30	2.30	36.9	11.3	14.0	15.7	37.2	37.9	28.8	17.9
19	14.6	7.93	4.23	2.16	44.1	15.7	17.0	45.9	26.8	33.1	105	17.0
20	14.2	7.80	3.98	5.60	23.8	13.8	12.4	52.5	25.8	31.2	63.2	16.7
21	15.7	7.55	3.78	31.0	19.2	12.3	22.9	33.4	19.9	47.1	36.0	15.2
22	20.8	7.77	3.64	13.9	25.5	11.4	60.1	25.2	19.8	45.1	30.3	15.4
23	26.4	7.86	3.45	6.24	25.1	11.1	21.3	39.7	18.7	45.8	50.5	14.6
24	19.6	7.42	3.43	4.61	36.5	11.6	20.2	46.8	21.1	62.9	72.5	13.5
25	16.3	7.17	3.54	5.68	26.6	11.7	17.9	36.6	19.6	31.1	49.7	13.0
26	14.6	6.95	3.49	13.9	22.7	11.0	18.3	29.0	16.9	48.3	43.7	12.6
27	13.9	6.82	3.40	16.4	22.4	10.5	20.4	24.7	19.2	82.3	43.3	12.5
28	13.3	6.65	3.36	9.39	28.8	10.3	18.6	28.7	26.2	51.3	30.9	12.1
29	12.8	6.64	3.53	8.50	20.9	11.4	25.0	26.7	21.7	42.6	27.3	11.5
30	12.3		3.86	6.40	17.4	13.6	19.3	30.1	18.8	61.9	26.4	11.2
31	11.9		3.53		15.6		18.1	21.0		41.9		10.9

Figura 2: Caudales Promedios Diarios de la Estación Tres Hermanas en la Cuenca del río Indio en Anuario Hidrológico del año 2004 (Autoridad del Canal de Panamá)

ESTACIÓN BOCA DE URACILLO EN EL RÍO INDIO												
Caudales promedios diarios en m <sup>3</sup> /s												
Sensor 3111	Año: 2005											
Latitud: 8° 58' 33" N	Área de drenaje: 365 km <sup>2</sup>											
Longitud: 80° 10' 30" O	Elevación: 30 m											
DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	9.5	9.4	5.06	4.93	5.66	10.5	13.9	22.8	28.7	44.7	27.1	12.9
2	9.3	9.08	4.98	4.08	6.13	13.7	13.0	16.5	69.9	35.5	28.4	12.6
3	8.93	8.68	4.84	3.80	9.72	12.2	12.5	29.5	58.8	53.4	15.9	12.4
4	8.75	8.43	4.73	8.94	18.1	12.1	12.0	18.0	26.2	43.1	15.3	12.0
5	9.3	8.17	4.67	8.65	16.9	47.4	11.5	15.3	26.5	41.2	13.5	11.5
6	8.66	7.84	4.67	9.22	8.59	30.1	10.9	14.0	20.7	57.2	13.3	12.8
7	8.28	7.69	4.64	21.6	6.93	15.0	11.4	13.2	19.2	54.7	14.3	11.5
8	8.07	7.61	4.50	15.1	6.29	11.9	11.2	35.1	25.9	29.2	14.1	12.9
9	8.04	7.60	4.43	7.94	7.53	10.9	9.85	17.0	19.4	50.1	34.5	15.9
10	8.12	7.65	4.95	6.57	5.94	9.79	9.69	20.2	46.4	50.0	29.4	11.5
11	20.0	7.89	7.34	8.52	5.58	12.5	9.47	21.4	32.2	26.6	37.4	11.2
12	15.2	7.49	5.35	7.72	6.26	15.9	10.9	16.4	20.5	23.4	44.7	11.4
13	10.0	7.00	4.87	6.11	6.69	13.9	20.0	15.8	27.5	21.7	26.2	22.8
14	9.4	6.91	4.93	6.25	27.6	16.5	28.1	24.9	23.7	20.2	32.2	30.7
15	10.2	6.98	4.82	52.6	23.4	21.4	19.8	48.5	20.3	19.5	25.2	15.0
16	11.2	11.1	4.37	20.0	9.89	15.1	14.1	66.1	18.7	28.5	26.1	12.7
17	13.5	8.04	4.20	14.4	8.50	12.9	15.8	33.4	20.0	20.6	20.9	11.5
18	27.7	6.91	4.07	12.1	10.8	22.6	12.1	38.8	19.0	19.3	18.1	10.8
19	36.0	6.53	3.98	9.25	44.6	12.5	108	24.0	17.4	17.9	16.9	10.2
20	20.8	6.57	3.91	7.81	15.4	15.4	41.6	20.7	16.1	16.0	16.0	10.3
21	16.7	6.65	3.76	6.97	10.9	13.6	21.1	26.9	14.9	20.3	14.7	9.8
22	13.3	6.21	3.76	6.38	9.78	15.0	17.3	37.8	36.2	35.0	25.4	9.5
23	11.7	5.92	3.71	5.91	17.4	12.5	15.6	30.3	29.6	19.9	19.8	14.5
24	12.5	6.03	3.67	5.61	13.3	23.6	14.2	25.0	31.0	20.1	21.8	13.3
25	14.5	5.88	3.66	5.37	12.3	20.5	15.7	26.6	41.2	22.7	20.3	10.1
26	14.7	5.73	4.27	5.20	9.66	21.9	17.0	21.3	43.5	17.4	24.6	19.1
27	11.7	5.56	5.33	5.05	8.37	16.6	13.8	35.4	35.5	23.1	17.5	14.2
28	11.6	5.31	4.22	4.94	8.55	35.0	15.7	24.0	29.7	16.6	15.7	11.5
29	11.5		5.59	4.98	8.18	21.6	13.8	23.4	33.8	17.1	14.1	10.4
30	11.1		4.41	4.91	8.37	16.2	17.3	20.7	31.8	14.5	13.7	9.43
31	10.2		5.18		8.24		23.6	19.7		13.3		9.37

*Figura 3: Caudales Promedios Diarios de la Estación Boca de Uracillo en la Cuenca del río Indio en Anuario Hidrológico del año 2005 (Autoridad del Canal de Panamá)*



ESTACIÓN TRES HERMANAS EN EL RÍO INDIO												
Caudales promedios diarios en m <sup>3</sup> /s												
Sensor: 3511	Año: 2005											
Latitud: 9° 00' 07" N	Área de drenaje: 383 km <sup>2</sup>											
Longitud: 80° 10' 52" O	Elevación: 12.1 m											
DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	10.3	10.3	5.54	5.32	6.18	11.1	14.5	26.6	30.0	47.0	22.5	14.4
2	10.0	10.0	5.38	4.30	6.87	17.0	13.4	17.3	57.0	41.7	36.9	13.7
3	9.73	9.55	5.35	3.86	9.44	14.8	13.0	32.8	71.5	55.6	17.7	13.7
4	9.45	9.24	5.16	11.5	16.6	12.5	12.6	19.9	29.2	51.0	16.9	13.1
5	9.84	8.99	5.01	12.2	22.7	45.0	12.0	16.1	30.9	40.9	15.0	12.6
6	9.34	8.62	4.90	6.88	10.0	39.4	11.2	14.6	23.3	56.6	14.7	13.6
7	8.89	8.46	4.80	27.0	7.89	16.7	11.6	13.7	20.9	66.3	16.1	12.1
8	8.67	8.32	4.62	18.0	6.98	13.0	11.7	40.3	28.6	33.0	15.2	12.9
9	8.57	8.35	4.51	9.91	8.60	12.0	10.3	18.8	22.1	44.7	35.4	17.6
10	8.58	8.35	4.68	8.00	6.70	10.7	10.1	20.7	51.3	61.0	32.8	12.6
11	18.7	8.63	8.10	10.0	6.07	13.4	9.93	24.6	45.4	30.3	41.2	12.1
12	18.6	8.19	5.68	9.84	6.79	16.4	11.7	18.5	25.3	26.3	52.2	12.5
13	10.9	7.55	4.99	7.38	7.38	15.7	18.8	17.4	31.5	24.3	30.2	20.9
14	10.1	7.42	5.29	7.22	19.7	16.2	34.0	20.7	29.6	22.5	35.8	36.3
15	10.9	7.42	5.17	61.1	34.8	23.3	24.9	44.8	23.3	21.8	29.8	16.5
16	12.4	11.6	4.58	29.6	11.5	17.3	14.5	76.9	21.7	30.6	29.0	13.9
17	14.2	9.11	4.31	17.8	9.38	13.2	17.1	38.1	22.6	24.3	23.0	12.5
18	27.9	7.66	4.13	14.7	12.0	24.8	12.1	44.1	22.1	21.7	20.0	11.7
19	39.8	7.19	4.04	11.3	49.9	13.2	104	27.0	19.6	20.0	18.5	11.2
20	23.6	7.19	3.99	9.46	18.3	16.5	51.9	22.8	18.0	17.8	17.8	11.3
21	18.6	7.31	3.88	8.35	12.3	14.2	23.6	29.6	16.5	25.5	16.2	10.7
22	14.5	6.80	3.79	7.48	11.2	16.0	18.5	40.4	34.5	36.6	33.2	10.4
23	12.8	6.45	3.80	6.87	18.7	13.1	16.3	38.8	38.6	26.4	27.7	16.1
24	13.3	6.59	3.71	6.39	15.8	24.9	14.8	26.5	34.8	19.7	30.5	15.8
25	15.9	6.40	3.80	6.04	13.4	23.8	15.6	31.0	41.9	28.2	24.7	11.3
26	16.4	6.12	4.36	5.68	11.3	24.8	18.3	23.5	49.6	19.7	29.5	23.0
27	12.9	5.88	7.01	5.49	9.71	18.1	14.3	33.9	41.3	25.3	20.5	16.5
28	12.7	5.69	4.46	5.31	9.87	39.2	16.1	27.0	35.2	18.5	18.1	13.0
29	12.6		6.27	5.32	9.58	30.5	14.3	27.4	35.6	19.1	16.2	11.6
30	12.0		4.44	5.15	9.67	17.4	17.9	28.6	37.8	16.2	15.5	10.5
31	11.1		5.37		9.58		25.7	20.5		14.9		10.4

*Figura 4: Caudales Promedios Diarios de la Estación Tres Hermanas en la Cuenca del río Indio en Anuario Hidrológico del año 2005 (Autoridad del Canal de Panamá)*

ESTACIÓN LAS MARIÁS EN EL RÍO URACILLO												
Caudales promedios diarios en m <sup>3</sup> /s												
Sensor	Año: 2005											
Latitud: 8° 53' 45" N	Área de drenaje: 46.7 km <sup>2</sup>											
Longitud: 80° 13' 17" O	Elevación: 175 m											
DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1.59	1.20	0.639	0.645	0.956	0.827	1.09	1.89	3.43	4.64	2.25	1.81
2	1.54	1.16	0.615	0.576	0.967	1.22	1.11	1.95	8.80	5.47	3.89	1.76
3	1.48	1.12	0.620	0.509	1.13	1.86	1.11	3.06	7.86	8.84	2.17	1.76
4	1.44	1.14	0.611	1.12	1.15	1.48	1.08	2.12	3.56	6.88	1.97	1.71
5	1.46	1.11	0.631	1.58	0.985	7.33	1.04	1.81	3.11	7.40	1.97	1.70
6	1.45	1.13	0.621	0.869	1.07	4.34	1.01	1.66	2.77	7.69	1.98	1.67
7	1.37	1.06	0.598	1.37	0.906	1.74	1.04	1.58	2.57	7.00	2.41	1.59
8	1.34	1.12	0.550	1.11	0.845	1.33	0.993	1.84	3.07	4.34	2.01	2.33
9	1.32	1.08	0.552	1.00	0.820	1.13	0.924	1.61	2.64	8.45	4.27	3.37
10	1.30	1.14	0.562	0.877	0.784	1.02	0.903	2.16	4.18	7.36	3.95	1.93
11	1.55	1.11	1.04	1.22	0.753	0.979	0.893	2.88	3.68	4.67	4.51	1.67
12	1.65	1.05	0.647	1.13	0.762	1.07	0.874	1.89	2.55	4.11	6.22	1.59
13	1.35	0.979	0.605	0.877	0.797	1.17	0.950	3.32	2.84	3.83	3.63	2.22
14	1.35	0.941	0.580	0.788	0.828	1.02	2.09	2.34	2.55	3.60	3.31	6.30
15	1.35	0.924	0.566	6.09	0.801	1.42	1.53	2.76	2.39	3.49	3.14	2.34
16	1.33	1.54	0.551	3.24	0.755	1.14	1.82	4.87	2.27	4.39	3.17	1.96
17	1.38	1.06	0.516	2.07	0.717	1.71	1.70	3.76	2.14	3.43	2.60	1.75
18	1.63	0.916	0.540	1.68	0.720	2.89	1.37	3.36	2.21	3.07	2.37	1.62
19	2.28	0.847	0.533	1.36	2.38	1.29	11.1	2.57	2.07	2.84	2.32	1.56
20	1.88	0.815	0.529	1.18	1.32	1.29	5.94	2.26	1.93	2.55	2.34	1.55
21	1.84	0.752	0.516	1.06	1.03	1.12	2.58	2.22	1.83	2.50	2.08	1.48
22	1.52	0.809	0.503	0.991	0.893	1.03	2.01	2.40	6.36	2.41	2.63	1.40
23	1.38	0.785	0.502	0.934	0.868	0.994	1.77	2.39	4.78	2.30	2.78	1.65
24	1.94	0.786	0.490	0.885	0.883	2.72	1.62	2.10	3.16	3.12	2.31	1.76
25	2.03	0.759	0.541	0.847	0.787	2.75	1.52	2.83	2.69	3.51	2.24	1.45
26	1.87	0.685	0.546	0.811	0.755	1.41	1.72	2.39	2.77	2.68	2.83	1.63
27	1.53	0.644	0.502	0.789	0.746	1.27	1.68	2.61	2.94	2.58	2.29	1.64
28	1.45	0.640	0.511	0.775	0.801	1.42	1.60	2.48	3.65	2.33	2.12	1.54
29	1.37		0.743	0.772	0.875	1.31	1.50	2.08	4.96	2.27	1.96	1.39
30	1.39		0.539	0.748	0.839	1.19	1.77	2.19	5.13	2.02	1.87	1.29
31	1.28		0.620		0.876		2.08	2.04		1.89		1.28

*Figura 5: Caudales Promedios Diarios de la Estación Las Mariás en la Cuenca del río Indio en Anuario Hidrológico del año 2005 (Autoridad del Canal de Panamá)*

Subbasin	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	NO4/Qprom Anual
1	3.69	1.24	0.49	1.36	6.10	7.03	6.14	6.82	6.66	10.30	12.57	8.86	5.97	0.2689
2	4.09	1.53	0.72	1.74	6.75	7.72	6.80	7.47	7.32	11.03	13.45	9.58	6.55	0.3283
3	3.17	1.26	0.65	1.47	5.06	5.73	5.07	5.52	5.43	8.06	9.82	7.05	4.88	0.2710
4	3.66	2.15	1.71	2.36	5.84	6.35	5.85	6.47	6.32	8.25	9.09	6.94	5.44	6.7329
5	4.52	2.08	1.33	2.28	6.85	7.73	6.87	7.82	7.56	10.73	12.29	9.15	6.63	1.9969
6	5.79	2.38	1.30	2.77	9.17	10.33	9.19	9.95	9.82	14.42	17.51	12.61	8.81	0.4966
7	3.20	1.63	1.17	1.84	5.18	5.79	5.26	5.88	5.72	7.81	8.82	6.63	4.93	2.1284
8	2.63	1.14	0.67	1.31	4.12	4.61	4.12	4.44	4.39	6.37	7.69	5.56	3.94	0.2255
9	1.63	0.90	0.65	1.01	2.66	2.83	2.56	2.76	2.73	3.71	4.47	3.17	2.43	0.3549
10	2.35	1.33	0.98	1.49	3.83	4.06	3.69	3.98	3.93	5.31	6.37	4.54	3.50	0.5070
11	2.43	0.92	0.46	1.06	3.71	4.26	3.80	4.08	4.04	5.99	7.22	5.31	3.62	0.3309
12	6.86	4.22	3.41	4.58	10.95	11.51	10.74	11.43	11.27	14.62	17.38	12.43	9.98	11.5535
13	1.69	0.99	0.74	1.11	2.76	2.89	2.62	2.81	2.79	3.73	4.51	3.20	2.50	0.4911
14	1.78	1.10	0.87	1.21	2.86	2.97	2.72	2.90	2.89	3.76	4.47	3.21	2.57	1.4414
15	3.14	1.35	0.77	1.60	4.96	5.57	5.05	5.31	5.29	7.51	8.89	6.65	4.69	0.6571
16	4.16	2.22	1.62	2.27	5.90	6.53	6.12	6.50	6.50	8.65	10.09	7.72	5.71	6.8655
17	2.37	1.42	1.09	1.56	3.79	3.97	3.62	3.87	3.85	5.08	6.12	4.38	3.44	2.0233
18	1.07	0.44	0.26	0.47	1.57	1.80	1.63	1.76	1.74	2.52	3.04	2.25	1.55	0.4190
19	2.71	1.19	0.73	1.42	4.18	4.72	4.34	4.51	4.51	6.24	7.15	5.61	3.96	0.7909
20	2.59	1.41	1.07	1.72	4.38	4.75	4.44	4.55	4.58	5.87	6.40	5.07	3.92	3.2312
21	3.16	1.71	1.24	1.99	5.02	5.48	5.14	5.27	5.29	6.88	7.58	6.11	4.59	1.4301
22	1.47	0.84	0.65	0.97	2.36	2.56	2.40	2.46	2.48	3.16	3.45	2.77	2.14	1.7989
23	3.99	2.19	1.62	2.55	6.33	6.90	6.48	6.65	6.68	8.64	9.51	7.67	5.79	3.3399

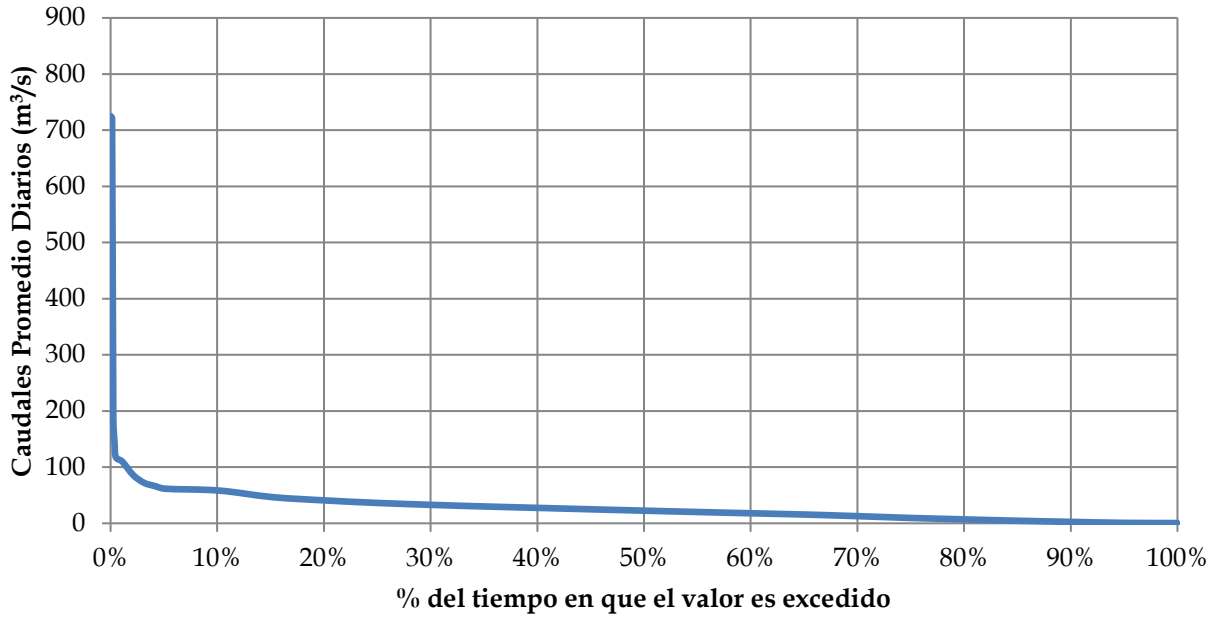
**Figura 6: Concentraciones Promedio Mensual y Anual de Nitratos (mg/l)**

Subbasin	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	PO4/NO3
1	2.92	0.98	0.39	1.08	4.82	5.55	4.85	5.39	5.26	8.14	9.93	7.00	4.71	0.7900
2	3.23	1.21	0.57	1.38	5.33	6.10	5.37	5.90	5.79	8.72	10.63	7.56	5.17	0.7900
3	2.50	1.00	0.52	1.16	4.00	4.53	4.01	4.36	4.29	6.37	7.76	5.57	3.85	0.7900
4	2.89	1.70	1.35	1.86	4.62	5.01	4.62	5.12	4.99	6.52	7.18	5.48	4.29	0.7900
5	3.57	1.64	1.05	1.80	5.41	6.11	5.43	6.18	5.97	8.48	9.71	7.22	5.24	0.7900
6	4.57	1.88	1.03	2.19	7.25	8.16	7.26	7.86	7.76	11.39	13.83	9.96	6.96	0.7900
7	2.53	1.29	0.92	1.45	4.09	4.57	4.16	4.65	4.52	6.17	6.97	5.24	3.90	0.7900
8	2.08	0.90	0.53	1.03	3.26	3.64	3.26	3.51	3.47	5.03	6.07	4.39	3.11	0.7900
9	1.28	0.71	0.51	0.80	2.10	2.23	2.02	2.18	2.16	2.93	3.53	2.51	1.92	0.7900
10	1.86	1.05	0.77	1.18	3.03	3.21	2.91	3.14	3.11	4.20	5.04	3.59	2.77	0.7900
11	1.92	0.73	0.36	0.84	2.93	3.37	3.00	3.23	3.19	4.73	5.71	4.19	2.86	0.7900
12	5.42	3.34	2.69	3.62	8.65	9.09	8.48	9.03	8.90	11.55	13.73	9.82	7.89	0.7900
13	1.34	0.78	0.59	0.87	2.18	2.28	2.07	2.22	2.20	2.95	3.56	2.53	1.97	0.7900
14	1.40	0.87	0.69	0.96	2.26	2.35	2.15	2.29	2.28	2.97	3.53	2.54	2.03	0.7900
15	2.48	1.07	0.61	1.27	3.92	4.40	3.99	4.19	4.18	5.93	7.02	5.25	3.71	0.7900
16	3.28	1.76	1.28	1.80	4.66	5.16	4.84	5.14	5.13	6.84	7.97	6.10	4.51	0.7900
17	1.87	1.12	0.86	1.24	3.00	3.13	2.86	3.05	3.04	4.01	4.83	3.46	2.72	0.7900
18	0.85	0.35	0.20	0.37	1.24	1.42	1.29	1.39	1.38	1.99	2.40	1.78	1.23	0.7900
19	2.14	0.94	0.58	1.12	3.31	3.73	3.43	3.56	3.56	4.93	5.65	4.43	3.13	0.7900
20	2.04	1.12	0.84	1.36	3.46	3.75	3.50	3.59	3.61	4.64	5.05	4.01	3.09	0.7900
21	2.49	1.35	0.98	1.57	3.97	4.33	4.06	4.17	4.18	5.44	5.99	4.83	3.63	0.7900
22	1.16	0.67	0.51	0.76	1.86	2.02	1.90	1.94	1.96	2.50	2.73	2.19	1.69	0.7900
23	3.15	1.73	1.28	2.01	5.00	5.45	5.12	5.26	5.27	6.83	7.51	6.06	4.57	0.7900

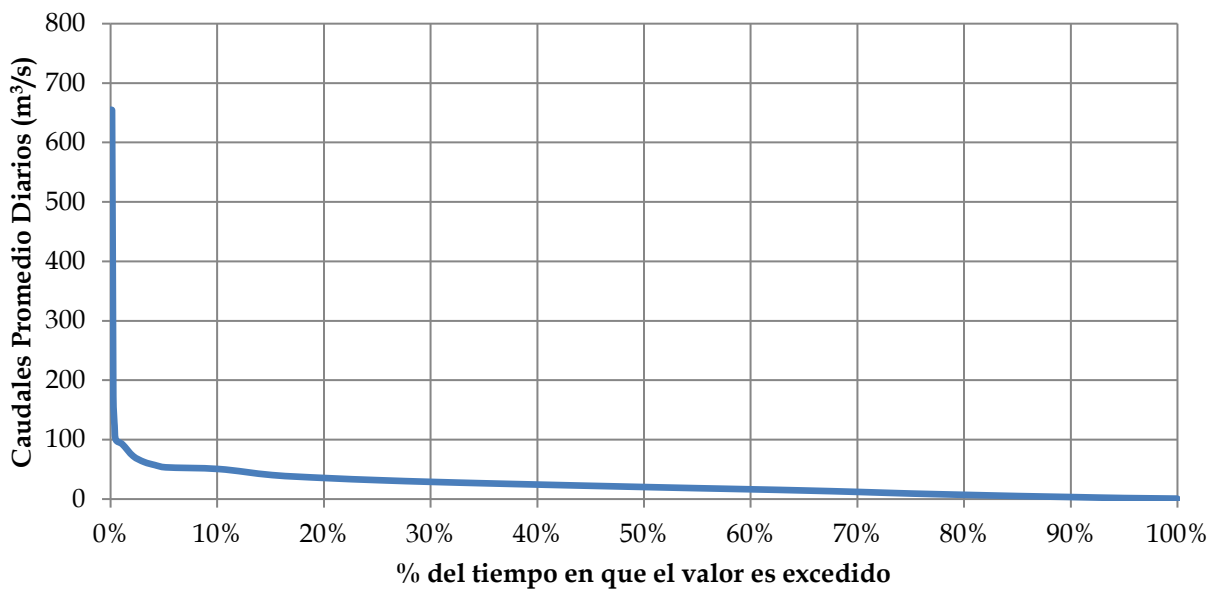
*Figura 7: Concentraciones Promedio Mensual y Anual de Fosfatos (mg/l)*

*Anexo 5: Curvas de excedencia y valores 7Q10 por mes para cada una de las 23 subcuencas de río Indio.*

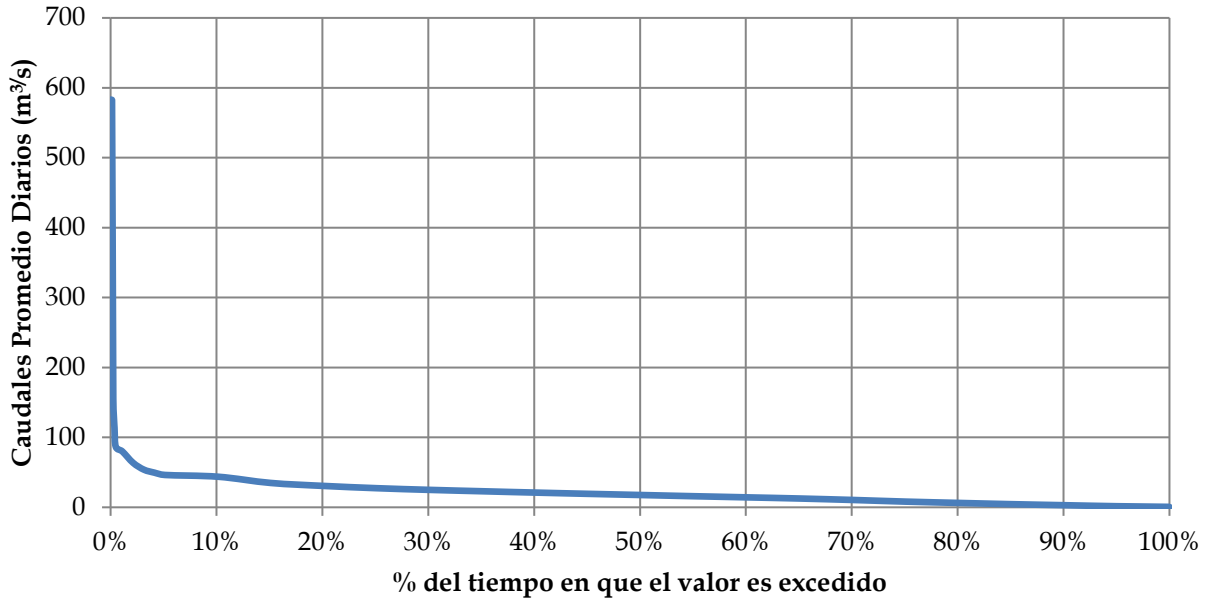
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 1 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



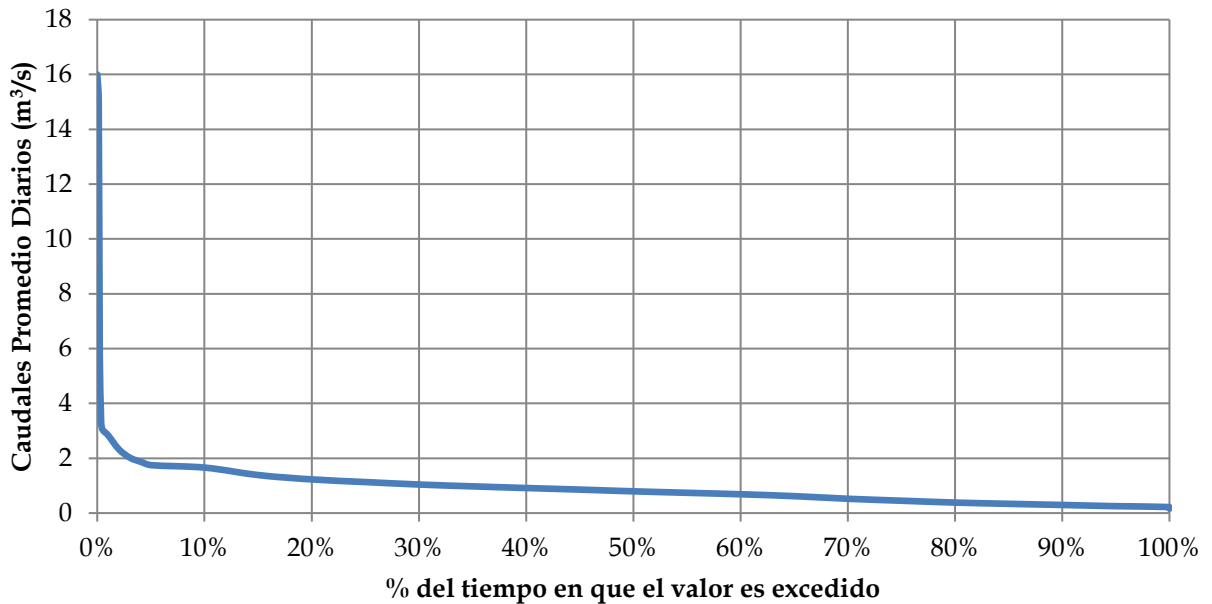
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 2 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



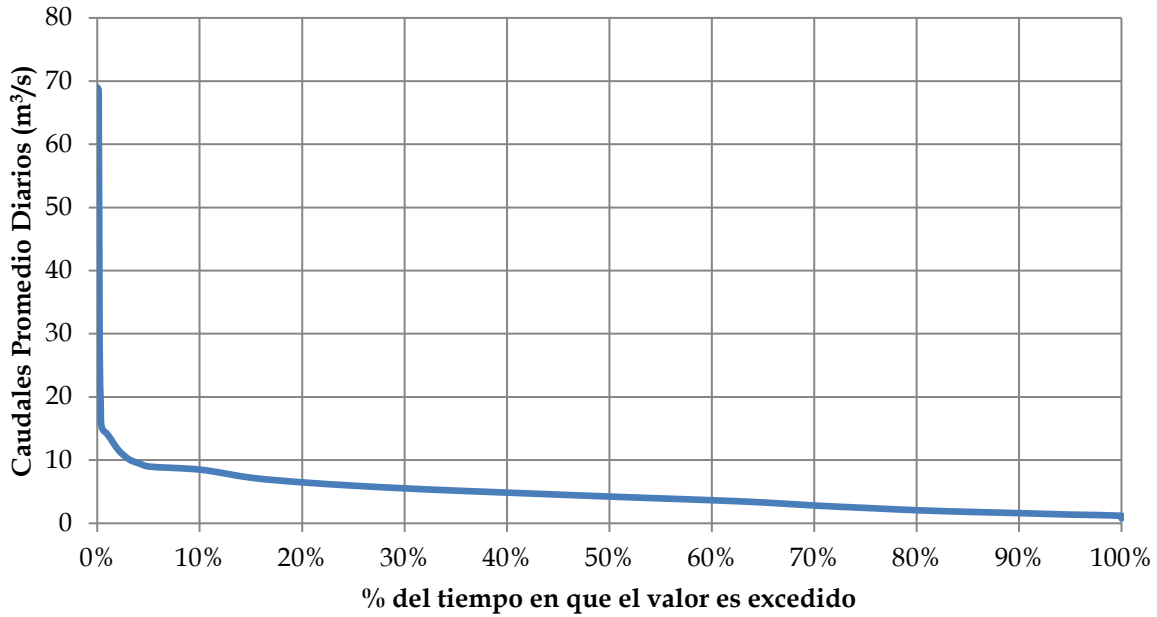
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 3 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



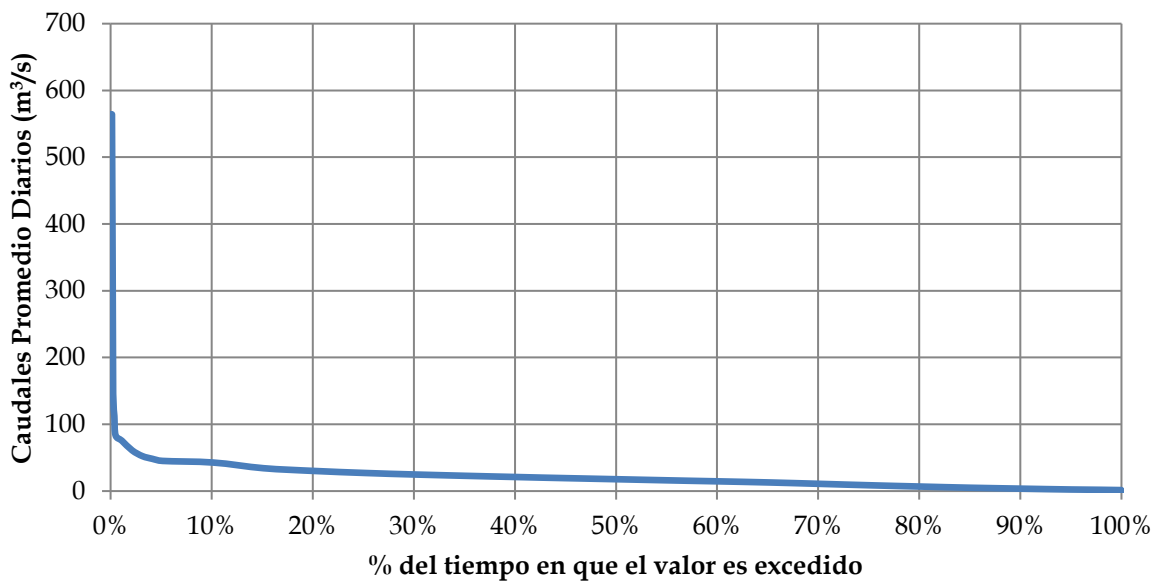
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 4 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 5 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**

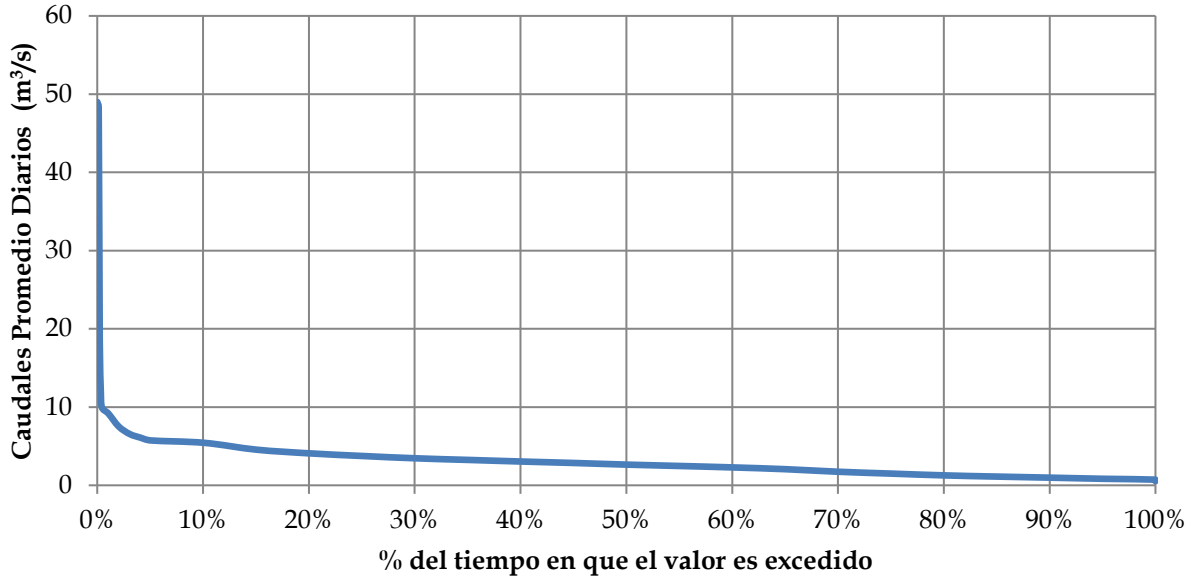


**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 6 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**

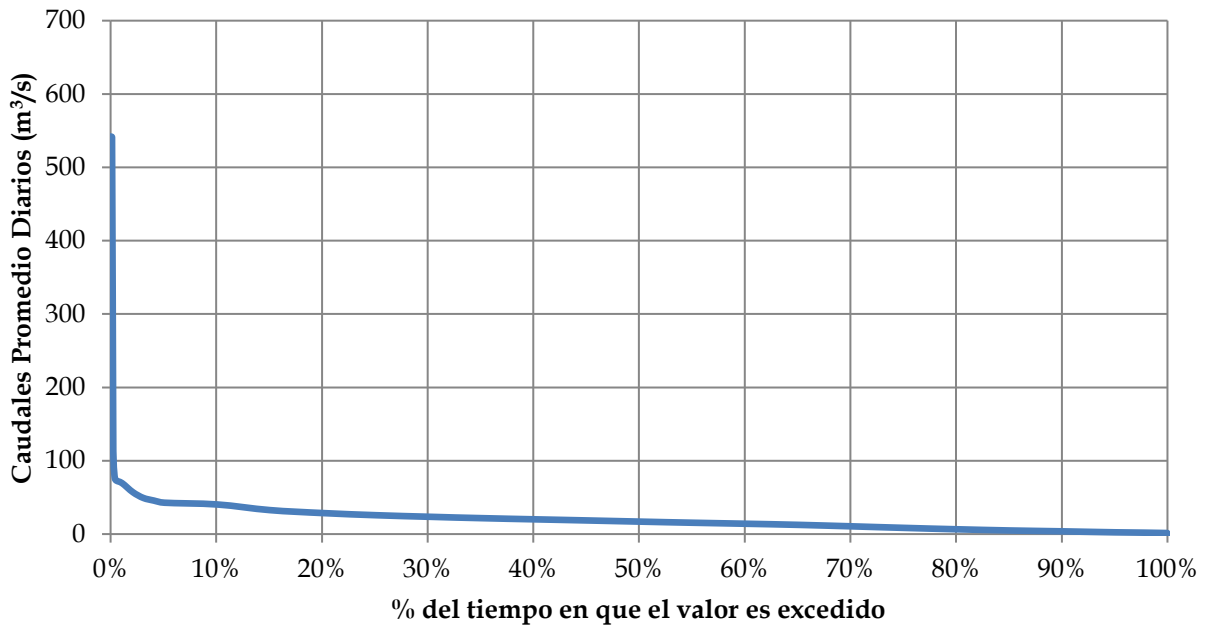




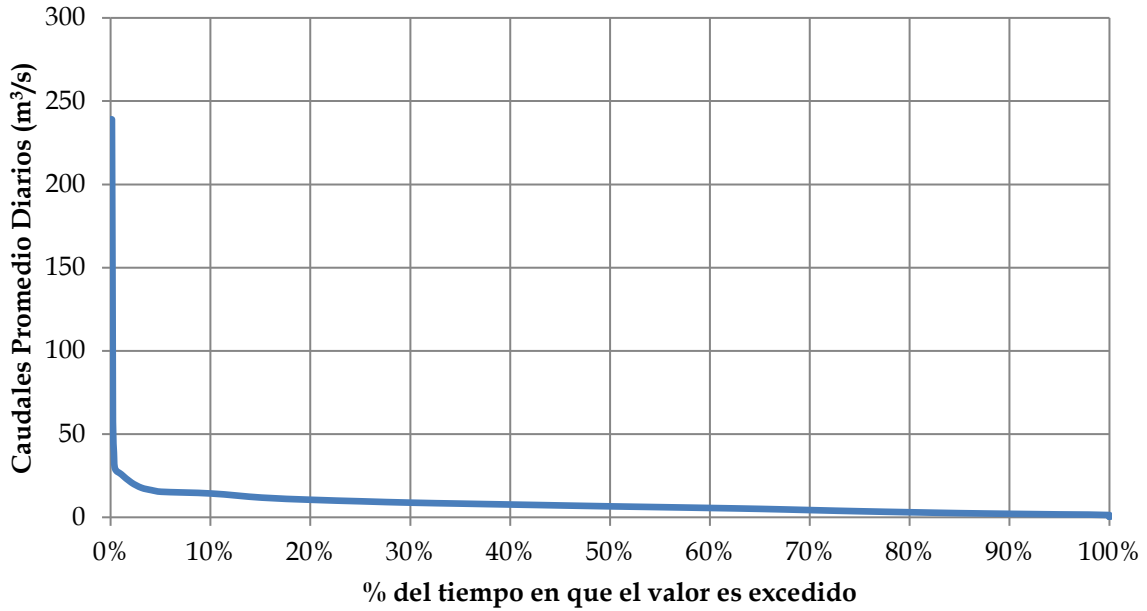
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 7 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



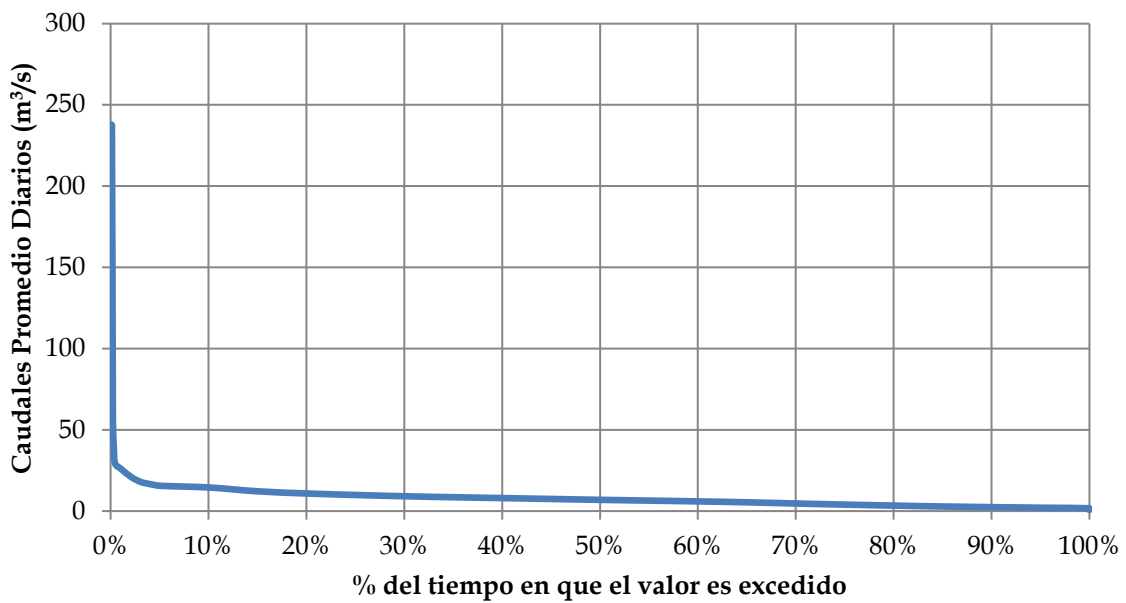
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 8 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



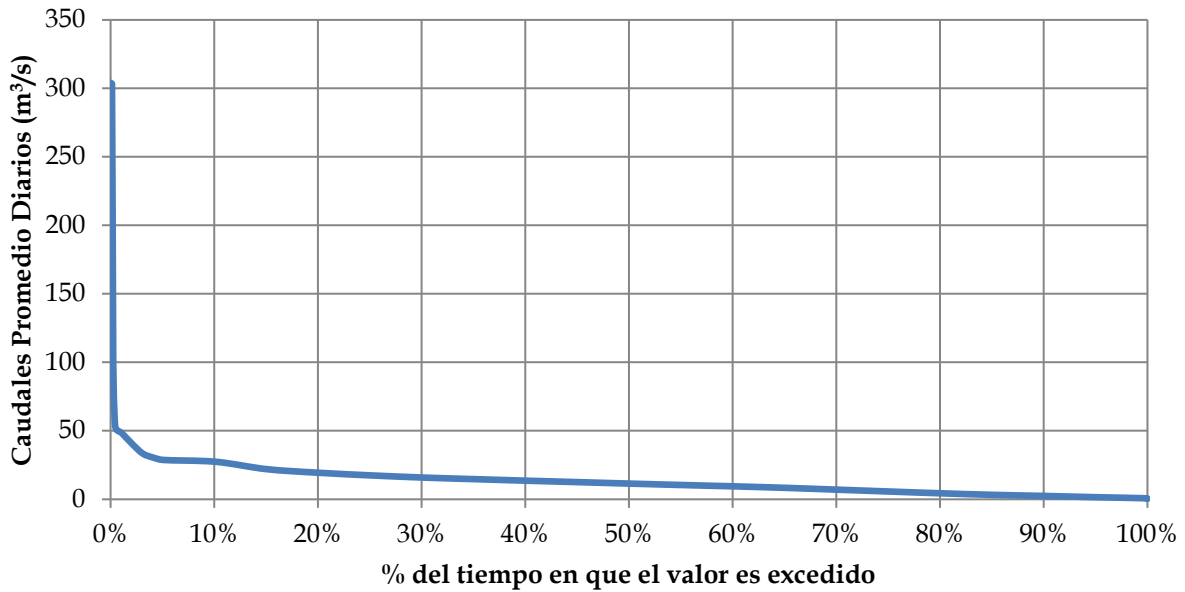
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 9 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



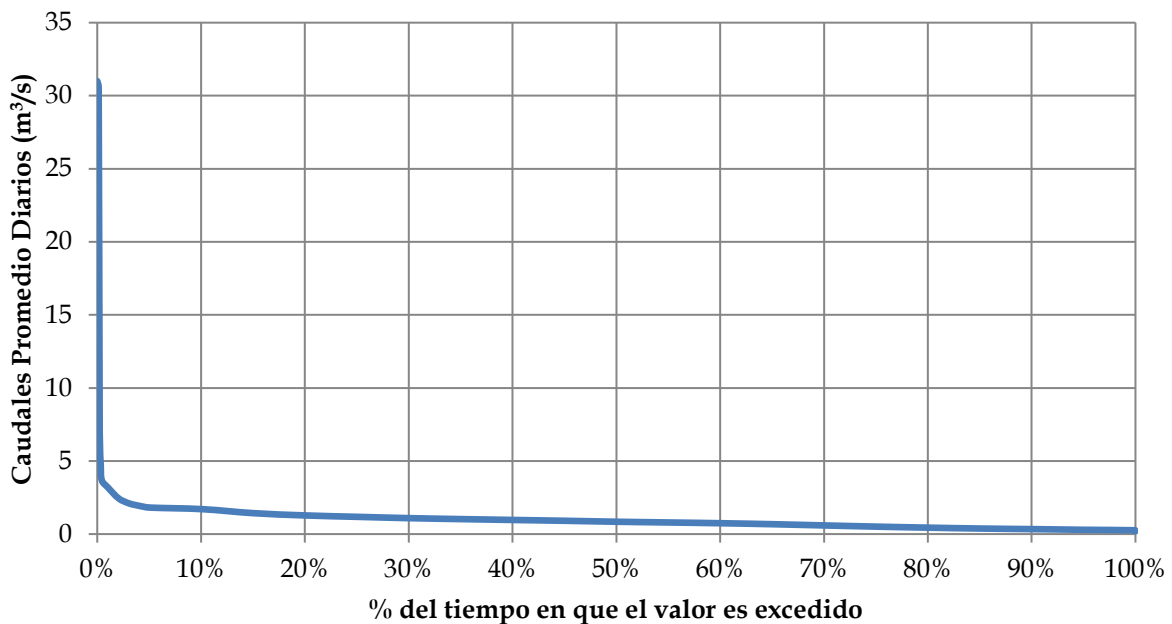
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 10 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



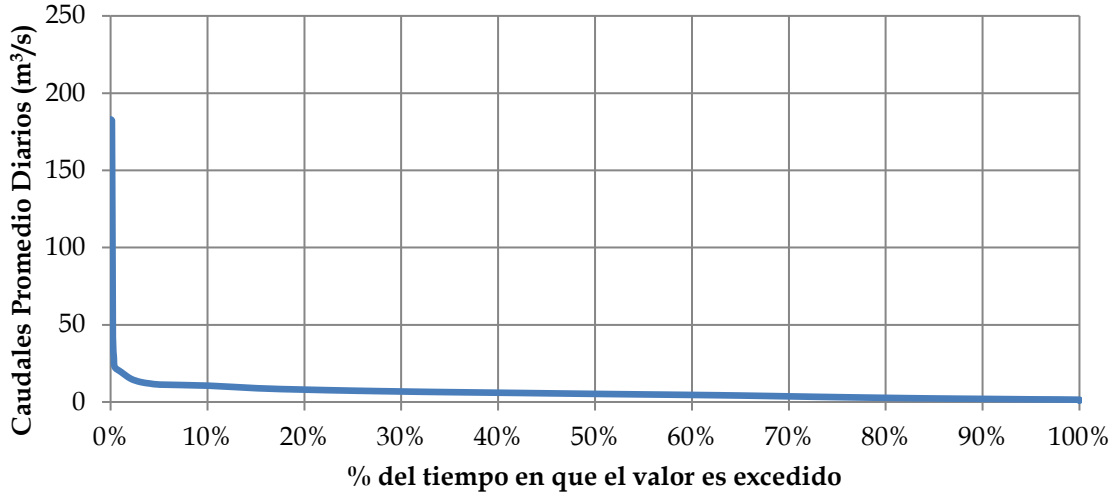
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 11 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



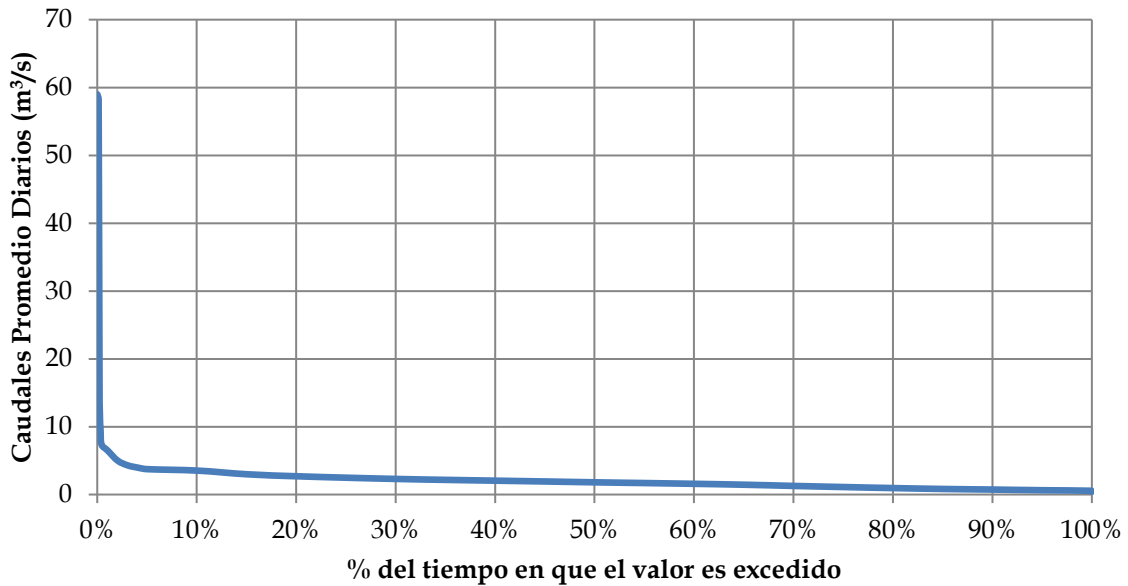
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 12 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



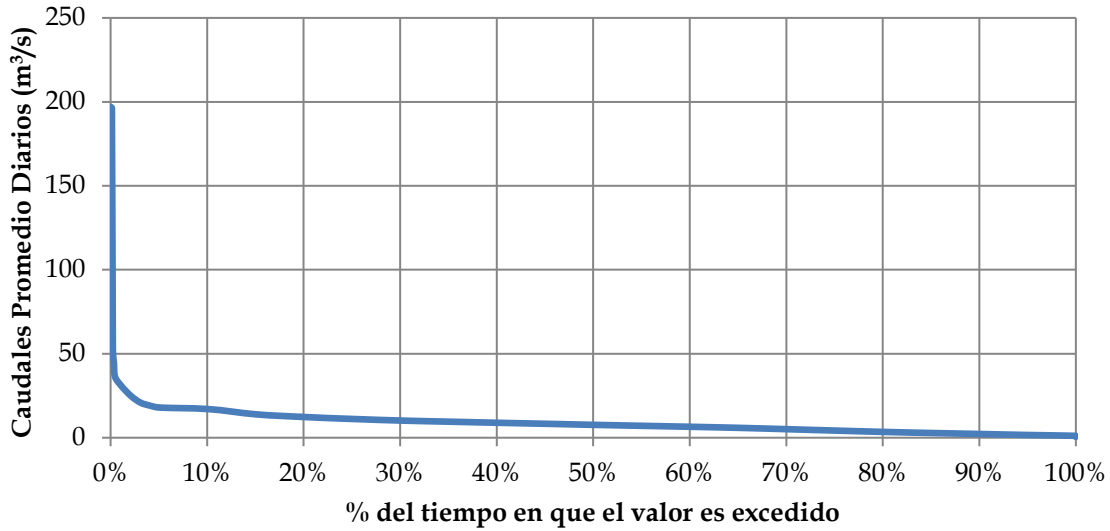
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 13 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



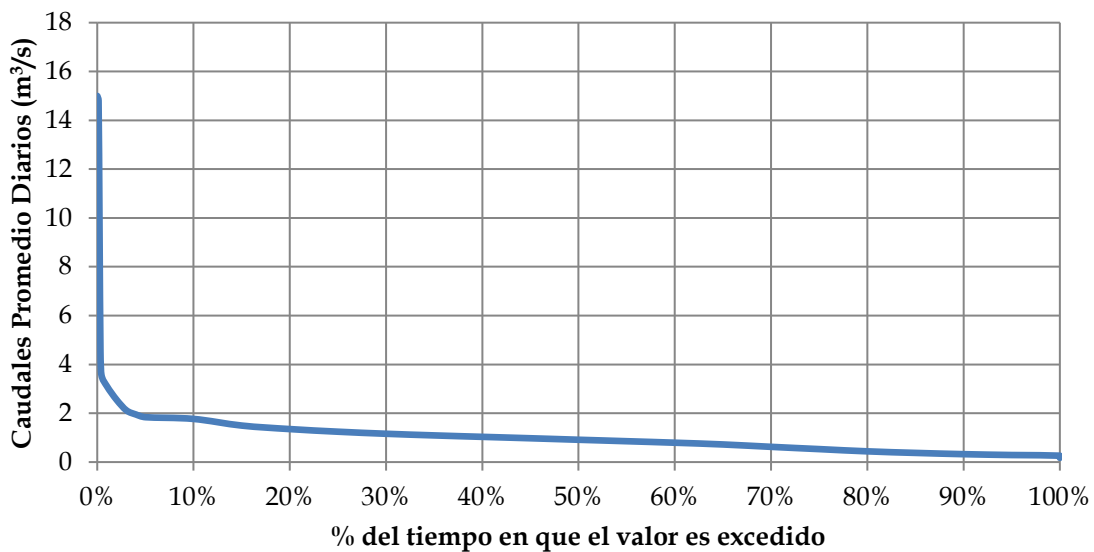
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 14 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



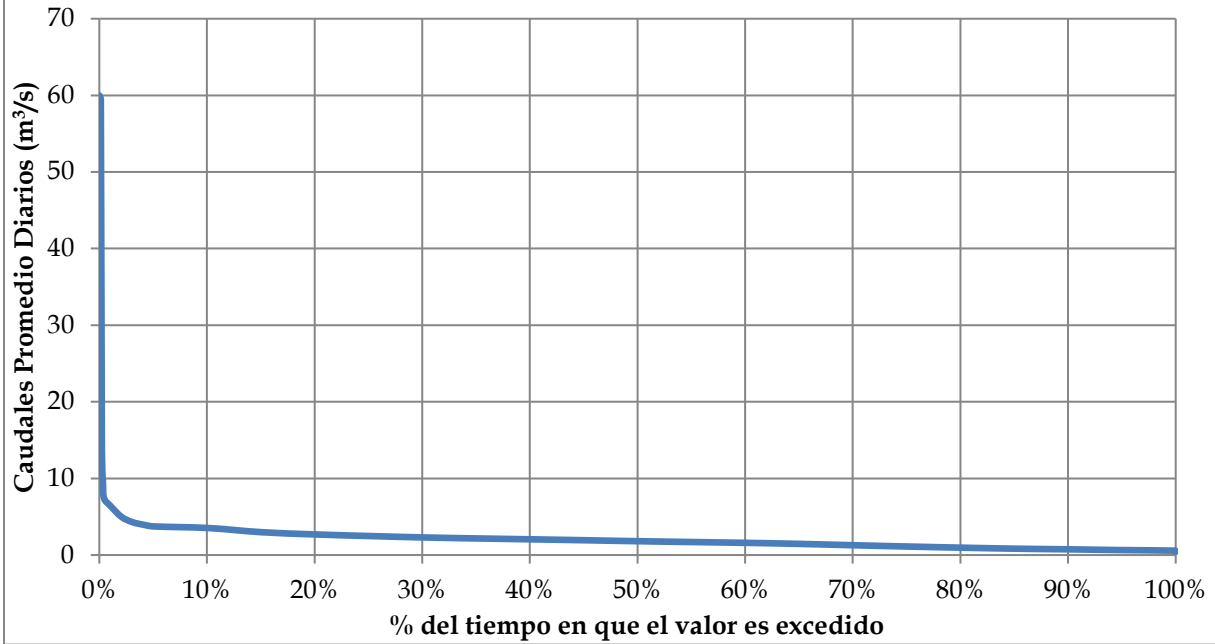
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 15 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



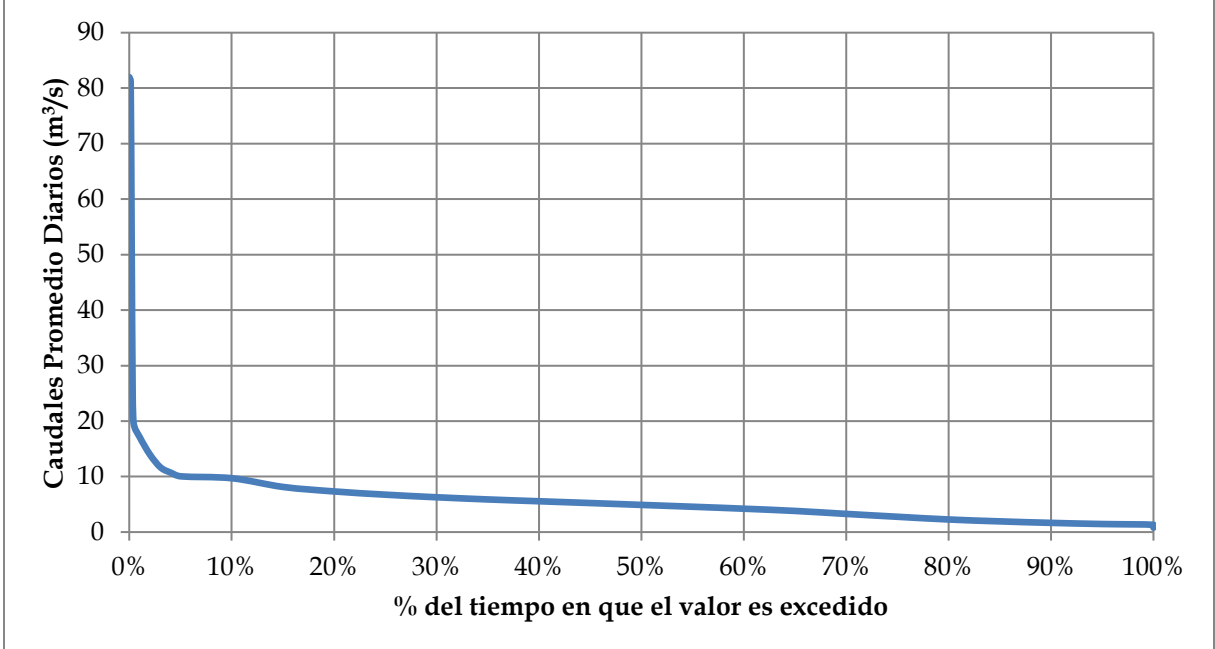
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 16 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



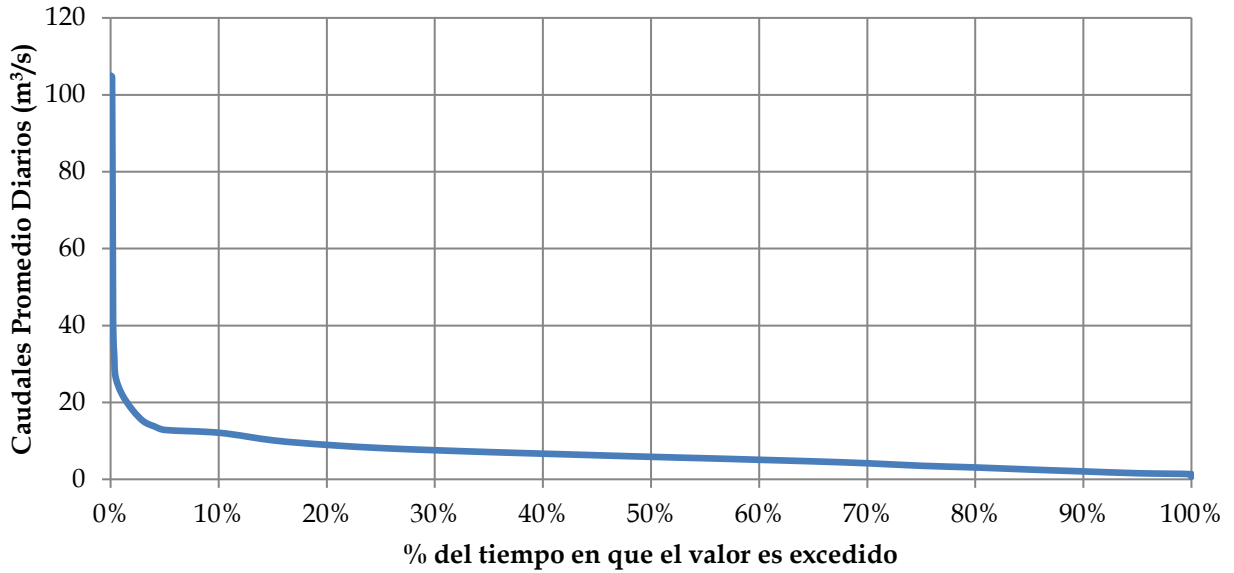
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 17 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



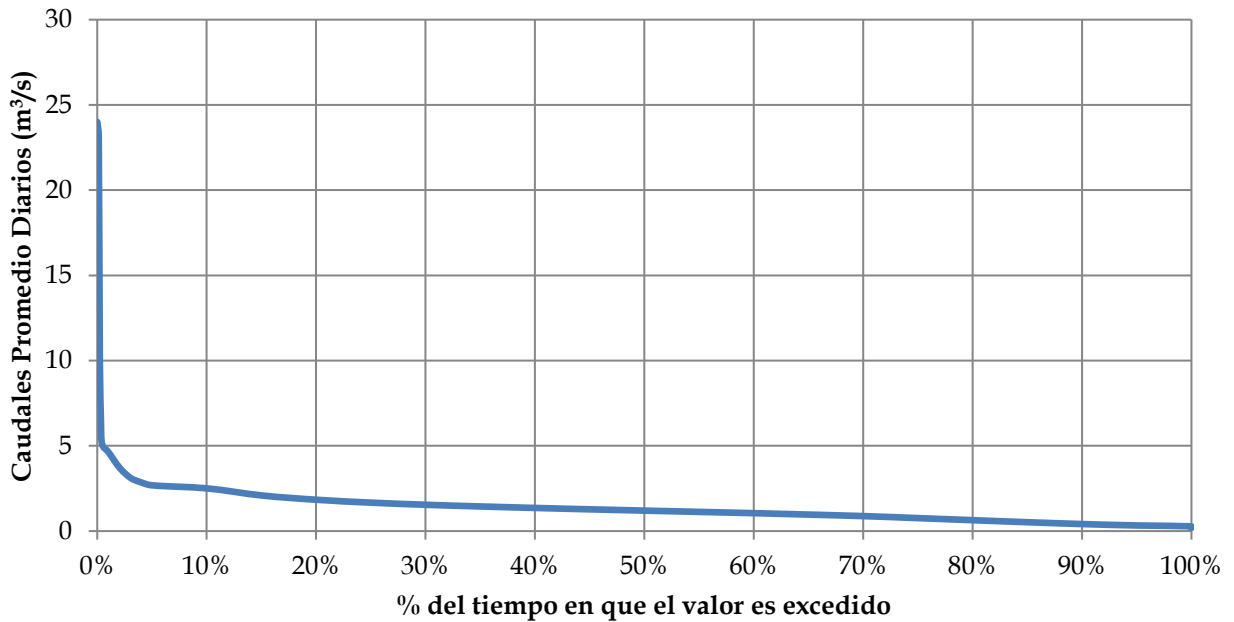
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 18 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



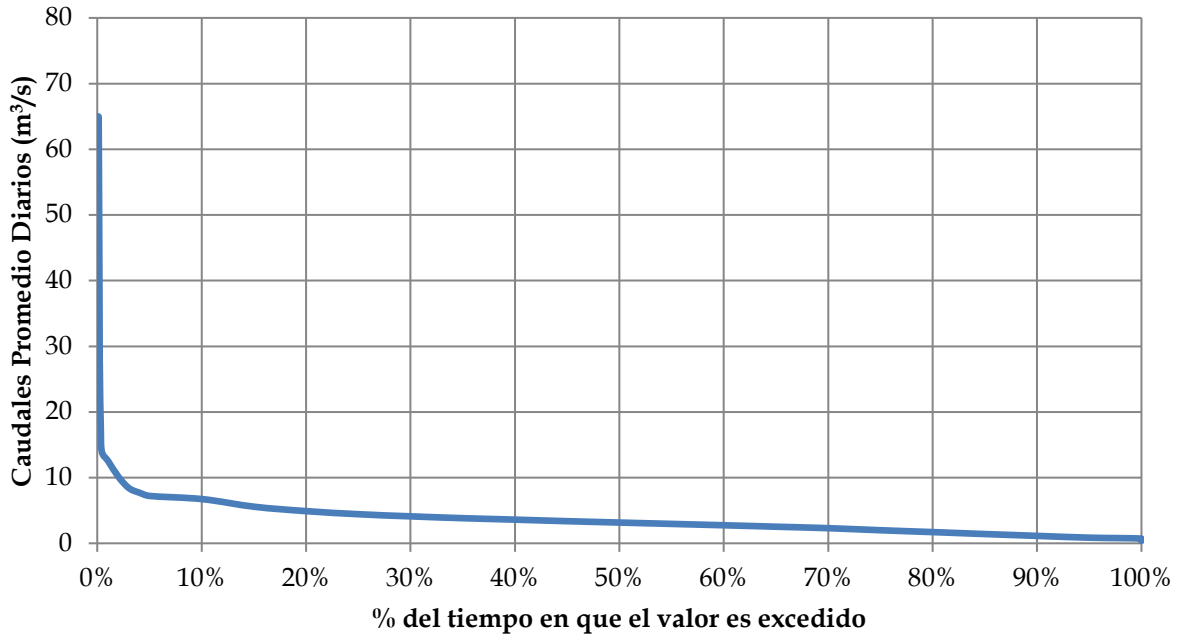
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 19 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



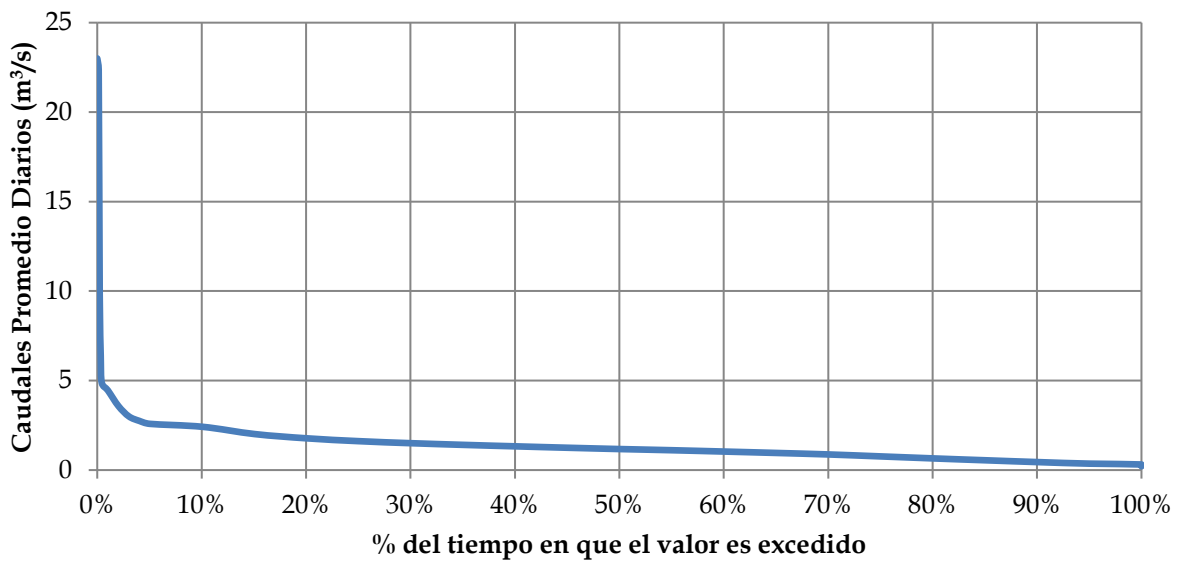
**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 20 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 21 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**

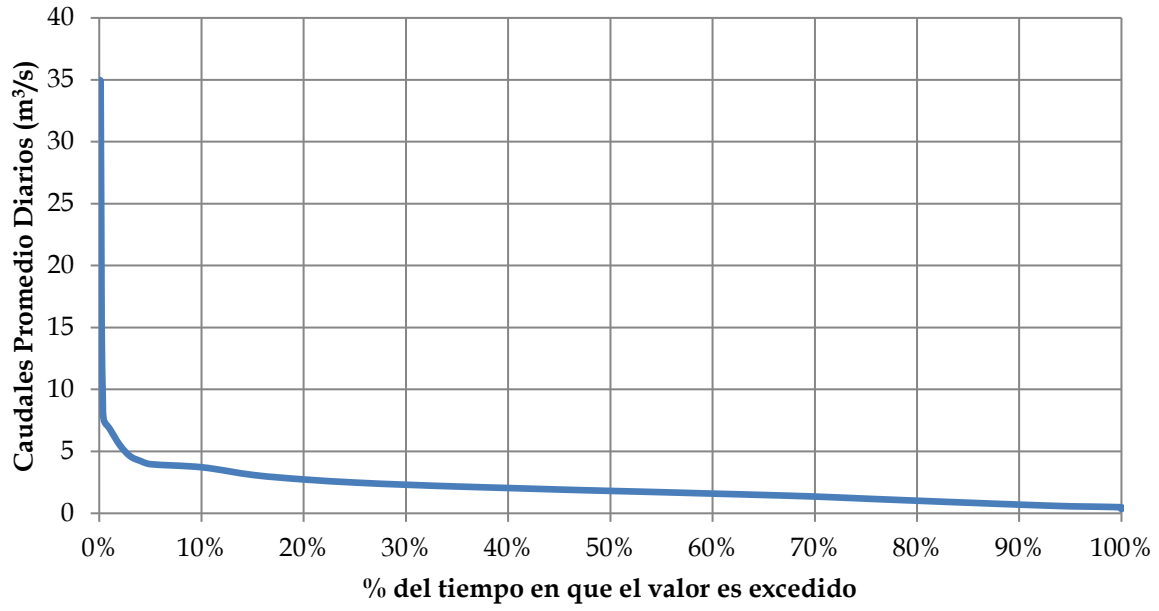


**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 22 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**





**Curva de Duración de Caudales Promedio Diarios  
Subcuenca 23 (Cuenca del Río Indio)  
Período (2000-2015)**



Subcuenca	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta
	Enero				Febrero				Marzo			
1	0.09	1.567	0.419	13.72	0.10	1.567	0.419	4.60	0.09	1.567	0.419	1.82
2	0.10	2.044	0.771	12.46	0.10	2.044	0.771	4.66	0.10	2.044	0.771	2.18
3	0.02	1.743	0.624	11.68	0.02	1.743	0.624	4.66	0.02	1.743	0.624	2.41
4	0.06	0.253	0.220	0.54	0.06	0.253	0.220	0.32	0.06	0.253	0.220	0.25
5	0.30	1.387	1.196	2.27	0.33	1.387	1.196	1.04	0.30	1.387	1.196	0.66
6	0.09	2.369	1.484	11.65	0.09	2.369	1.484	4.79	0.09	2.369	1.484	2.62
7	0.19	0.839	0.726	1.50	0.21	0.839	0.726	0.77	0.19	0.839	0.726	0.55
8	0.00	2.340	1.402	11.65	0.00	2.340	1.402	5.05	0.00	2.340	1.402	2.96
9	0.01	1.622	1.350	4.58	0.01	1.622	1.350	2.54	0.01	1.622	1.350	1.83
10	0.10	1.980	1.715	4.64	0.11	1.980	1.715	2.62	0.10	1.980	1.715	1.92
11	0.11	1.406	0.731	7.35	0.12	1.406	0.731	2.77	0.11	1.406	0.731	1.38
12	0.06	0.293	0.259	0.59	0.06	0.293	0.259	0.37	0.06	0.293	0.259	0.30
13	0.12	1.669	1.460	3.45	0.13	1.669	1.460	2.01	0.12	1.669	1.460	1.51
14	0.11	0.626	0.559	1.23	0.12	0.626	0.559	0.76	0.11	0.626	0.559	0.61
15	0.14	1.462	1.114	4.79	0.16	1.462	1.114	2.06	0.14	1.462	1.114	1.18
16	0.08	0.294	0.262	0.61	0.09	0.294	0.262	0.32	0.08	0.294	0.262	0.24
17	0.12	0.637	0.570	1.17	0.12	0.637	0.570	0.70	0.11	0.637	0.570	0.54
18	0.44	1.454	1.309	2.56	0.48	1.454	1.309	1.04	0.44	1.454	1.309	0.62
19	0.15	1.527	1.325	3.43	0.16	1.527	1.325	1.51	0.14	1.527	1.325	0.92
20	0.06	0.319	0.279	0.80	0.07	0.319	0.279	0.44	0.06	0.319	0.279	0.33
21	0.02	0.842	0.717	2.21	0.02	0.842	0.717	1.19	0.02	0.842	0.717	0.87
22	0.06	0.356	0.313	0.82	0.07	0.356	0.313	0.47	0.06	0.356	0.313	0.36
23	0.10	0.561	0.493	1.19	0.10	0.561	0.493	0.66	0.09	0.561	0.493	0.48

Subcuenca	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta
	Abril				Mayo				Junio			
1	0.10	1.567	0.419	5.06	0.08	1.567	0.419	22.68	0.09	1.567	0.419	26.15
2	0.11	2.044	0.771	5.30	0.09	2.044	0.771	20.56	0.10	2.044	0.771	23.53
3	0.02	1.743	0.624	5.43	0.02	1.743	0.624	18.68	0.02	1.743	0.624	21.14
4	0.06	0.253	0.220	0.35	0.05	0.253	0.220	0.87	0.06	0.253	0.220	0.94
5	0.34	1.387	1.196	1.14	0.28	1.387	1.196	3.43	0.30	1.387	1.196	3.87
6	0.10	2.369	1.484	5.57	0.08	2.369	1.484	18.47	0.09	2.369	1.484	20.81
7	0.21	0.839	0.726	0.86	0.18	0.839	0.726	2.43	0.19	0.839	0.726	2.72
8	0.00	2.340	1.402	5.79	0.00	2.340	1.402	18.28	0.00	2.340	1.402	20.45
9	0.01	1.622	1.350	2.86	0.01	1.622	1.350	7.49	0.01	1.622	1.350	7.96
10	0.11	1.980	1.715	2.93	0.09	1.980	1.715	7.56	0.10	1.980	1.715	8.01
11	0.12	1.406	0.731	3.20	0.10	1.406	0.731	11.21	0.11	1.406	0.731	12.89
12	0.06	0.293	0.259	0.40	0.05	0.293	0.259	0.95	0.06	0.293	0.259	1.00
13	0.14	1.669	1.460	2.25	0.12	1.669	1.460	5.62	0.12	1.669	1.460	5.88
14	0.13	0.626	0.559	0.84	0.11	0.626	0.559	1.99	0.11	0.626	0.559	2.06
15	0.16	1.462	1.114	2.44	0.13	1.462	1.114	7.55	0.14	1.462	1.114	8.48
16	0.09	0.294	0.262	0.33	0.08	0.294	0.262	0.86	0.08	0.294	0.262	0.95
17	0.13	0.637	0.570	0.77	0.11	0.637	0.570	1.87	0.11	0.637	0.570	1.96
18	0.49	1.454	1.309	1.13	0.41	1.454	1.309	3.74	0.43	1.454	1.309	4.29
19	0.16	1.527	1.325	1.79	0.14	1.527	1.325	5.29	0.14	1.527	1.325	5.97
20	0.07	0.319	0.279	0.53	0.06	0.319	0.279	1.36	0.06	0.319	0.279	1.47
21	0.02	0.842	0.717	1.39	0.02	0.842	0.717	3.51	0.02	0.842	0.717	3.83
22	0.07	0.356	0.313	0.54	0.06	0.356	0.313	1.31	0.06	0.356	0.313	1.42
23	0.11	0.561	0.493	0.76	0.09	0.561	0.493	1.90	0.09	0.561	0.493	2.06

Subcuenca	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta
	Julio				Agosto				Septiembre			
1	0.05	1.567	0.419	22.84	0.03	1.567	0.419	25.36	0.03	1.567	0.419	24.75
2	0.05	2.044	0.771	20.71	0.03	2.044	0.771	22.75	0.04	2.044	0.771	22.31
3	0.01	1.743	0.624	18.72	0.01	1.743	0.624	20.37	0.01	1.743	0.624	20.05
4	0.03	0.253	0.220	0.87	0.02	0.253	0.220	0.96	0.02	0.253	0.220	0.94
5	0.17	1.387	1.196	3.44	0.10	1.387	1.196	3.92	0.12	1.387	1.196	3.79
6	0.05	2.369	1.484	18.50	0.03	2.369	1.484	20.04	0.03	2.369	1.484	19.77
7	0.11	0.839	0.726	2.47	0.06	0.839	0.726	2.76	0.07	0.839	0.726	2.69
8	0.00	2.340	1.402	18.28	0.00	2.340	1.402	19.71	0.00	2.340	1.402	19.47
9	0.00	1.622	1.350	7.21	0.00	1.622	1.350	7.79	0.00	1.622	1.350	7.69
10	0.06	1.980	1.715	7.27	0.03	1.980	1.715	7.85	0.04	1.980	1.715	7.75
11	0.06	1.406	0.731	11.49	0.03	1.406	0.731	12.34	0.04	1.406	0.731	12.21
12	0.03	0.293	0.259	0.93	0.02	0.293	0.259	0.99	0.02	0.293	0.259	0.98
13	0.07	1.669	1.460	5.34	0.04	1.669	1.460	5.71	0.05	1.669	1.460	5.68
14	0.06	0.626	0.559	1.89	0.04	0.626	0.559	2.01	0.04	0.626	0.559	2.00
15	0.08	1.462	1.114	7.68	0.05	1.462	1.114	8.07	0.05	1.462	1.114	8.05
16	0.05	0.294	0.262	0.89	0.03	0.294	0.262	0.95	0.03	0.294	0.262	0.95
17	0.06	0.637	0.570	1.79	0.04	0.637	0.570	1.91	0.04	0.637	0.570	1.90
18	0.25	1.454	1.309	3.89	0.14	1.454	1.309	4.19	0.17	1.454	1.309	4.16
19	0.08	1.527	1.325	5.49	0.05	1.527	1.325	5.70	0.06	1.527	1.325	5.71
20	0.04	0.319	0.279	1.37	0.02	0.319	0.279	1.41	0.02	0.319	0.279	1.42
21	0.01	0.842	0.717	3.60	0.01	0.842	0.717	3.69	0.01	0.842	0.717	3.70
22	0.04	0.356	0.313	1.34	0.02	0.356	0.313	1.37	0.02	0.356	0.313	1.38
23	0.05	0.561	0.493	1.94	0.03	0.561	0.493	1.99	0.04	0.561	0.493	2.00

Subcuenca	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta	Qdemanda	7Q10	Q95%	Qoferta
	Octubre				Noviembre				Diciembre			
1	0.04	1.567	0.419	38.31	0.06	1.567	0.419	46.76	0.07	1.567	0.419	32.94
2	0.04	2.044	0.771	33.60	0.07	2.044	0.771	40.96	0.08	2.044	0.771	29.16
3	0.01	1.743	0.624	29.75	0.01	1.743	0.624	36.25	0.01	1.743	0.624	26.00
4	0.02	0.253	0.220	1.23	0.04	0.253	0.220	1.35	0.05	0.253	0.220	1.03
5	0.13	1.387	1.196	5.37	0.21	1.387	1.196	6.15	0.25	1.387	1.196	4.58
6	0.04	2.369	1.484	29.03	0.06	2.369	1.484	35.25	0.07	2.369	1.484	25.38
7	0.08	0.839	0.726	3.67	0.13	0.839	0.726	4.14	0.16	0.839	0.726	3.12
8	0.00	2.340	1.402	28.27	0.00	2.340	1.402	34.09	0.00	2.340	1.402	24.65
9	0.00	1.622	1.350	10.46	0.00	1.622	1.350	12.59	0.01	1.622	1.350	8.94
10	0.04	1.980	1.715	10.48	0.07	1.980	1.715	12.57	0.08	1.980	1.715	8.96
11	0.05	1.406	0.731	18.11	0.08	1.406	0.731	21.84	0.09	1.406	0.731	16.04
12	0.02	0.293	0.259	1.27	0.04	0.293	0.259	1.50	0.05	0.293	0.259	1.08
13	0.05	1.669	1.460	7.59	0.09	1.669	1.460	9.19	0.10	1.669	1.460	6.51
14	0.05	0.626	0.559	2.61	0.08	0.626	0.559	3.10	0.09	0.626	0.559	2.23
15	0.06	1.462	1.114	11.43	0.10	1.462	1.114	13.52	0.12	1.462	1.114	10.12
16	0.03	0.294	0.262	1.26	0.06	0.294	0.262	1.47	0.07	0.294	0.262	1.12
17	0.05	0.637	0.570	2.51	0.08	0.637	0.570	3.02	0.09	0.637	0.570	2.16
18	0.18	1.454	1.309	6.01	0.31	1.454	1.309	7.25	0.36	1.454	1.309	5.37
19	0.06	1.527	1.325	7.88	0.10	1.527	1.325	9.04	0.12	1.527	1.325	7.09
20	0.03	0.319	0.279	1.82	0.04	0.319	0.279	1.98	0.05	0.319	0.279	1.57
21	0.01	0.842	0.717	4.81	0.01	0.842	0.717	5.30	0.02	0.842	0.717	4.28
22	0.03	0.356	0.313	1.76	0.04	0.356	0.313	1.92	0.05	0.356	0.313	1.54
23	0.04	0.561	0.493	2.59	0.07	0.561	0.493	2.85	0.08	0.561	0.493	2.30